tijdschrift van het

nederlands elektronica- en radiogenootschap

deel 46 - nr. 1 - 1981

nederlands elektronica- en radiogenootschap

Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap
Postbus 39, Leidschendam. Gironummer 94746 t.n.v.
Penningmeester NERG, Leidschendam.

HET GENOOTSCHAP

Het Genootschap stelt zich ten doel in Nederland en de Overzeese Rijksdelen de wetenschappelijke ontwikkeling en de toepassing van de elektronica en de radio in de ruimste zin te bevorderen.

Lidmaatschap

Voor lidmaatschap wende men zich tot de secretaris. Het lidmaatschap staat -behoudens ballotage- open voor academisch gegradueerden en hen, wier kennis of ervaring naar het oordeel van het bestuur een vruchtbaar lidmaatschap mogelijk maakt. De contributie bedraagt fl. 60,--.

Studenten aan universiteiten en hogescholen komen bij gevorderde studie in aanmerking voor een junior-lidmaatschap, waarbij 50% reductie wordt verleend op de contributie. Op aanvraag kan deze reductie ook aan anderen worden verleend.

HET TIJDSCHRIFT

Het tijdschrift verschijnt zesmaal per jaar. Opgenomen worden artikelen op het gebied van de elektronica en van de telecommunicatie.

Auteurs die publicatie van hun wetenschappelijk werk in het tijdschrift wensen, wordt verzocht in een vroeg stadium kontakt op te nemen met de voorzitter van de redactie commissie.

De teksten moeten, getypt op door de redactie verstrekte tekstbladen, geheel persklaar voor de offsetdruk worden ingezonden.

De abonnementsprijs van het tijdschrift bedraagt f 55,--. Aan leden wordt het tijdschrift kosteloos toegestuurd.

Tarieven en verdere inlichtingen over advertenties worden op aanvrage verstrekt door de voorzitter van de redactiecommissie.

DE EXAMENS

De door het Genootschap ingestelde examens worden afgenomen in samenwerking met de "Vereniging tot bevordering van Elektrotechnisch Vakonderwijs in Nederland (V.E.V.)". Het betreft de examens:

a. op lager technisch niveau: "Elektronica monteur N.E.R.G.";
b. op middelbaar technisch niveau: "Middelbaar Elektronica technicus N.E.R.G.".

Voor deelname, inlichtingen omtrent exameneisen, reglement, en uitgewerkte opgaven wende men zich tot het Centraal Bureau van de V.E.V., Barneveldseweg 39, 3862 PB Nijkerk; tel. 03494 - 4844.

THE TELEPHONE INDUSTRY - AN INDUSTRY IN TRANSITION

Dr.Christian Jacobaeus

Telefon AB L.M.Ericsson





This description of the transformation of the telephone industry in the electronic age is based upon the development in the Ericsson Telephone Co, where the author has been active through his professional life. It is likely, however, that the experience from the Ericsson Co. is of general application. Probably, nonetheless, its transformation has been more drastic than elsewhere since LME hardly had any markets protected from competition where it could continue with the old technology.

One may distinguish three functions in a telephone network: the conversion function, the transmission function, and the switching function. The telephone industry designs and manufactures equipment for these functions, such as:

the conversion function - telephon sets

In telephone sets a conversion of acoustic to electric energy takes place, and vice versa. The telephone transmits and receives speech currents.

the transmission function - cable and wire, carrier systems

By means of cable, wire, carrier systems, the electric speech currents are transmitted from one place to another.

the switching function - telephone exchanges

The telephone exchanges connect the subscribers together according to their desire for speech. A telephone exchange also has the task of concentrating the traffic so as to get better utilization of the transmission systems.

With regard to Fig. 1 and 2 "Key achievements" some comments are made.

Telephone sets have remained remarkably unchanged for nearly a century. Their components were merely modified as a result of new production methods and new materials. In the sixties and seventies, however, a revolution occurred. Most components underwent radical changes. The old carbon granule microphone has been superseded by new types with better sound reproduction and life properties. The technique now offers several alternatives as capacitor-, electret-, electromagnetic, piezoelectrical microphones etc. On the other hand these new types do not have the fine property of the carbon granule microphone, the inherent gain. The new microphones require external gain, which is easily effected with semiconductor circuits. The dial is being more and more superseded by keyboards. In some cases new acoustic signal generators are introduced, etc.

The transmission systems have had a very rich development, and it is in this sphere probably that the technical and economic advances have been most striking. The analog systems predominated until quite recently; the main investments are now in digital equipment. Over the years some different epochs are distinguishable as regards components and systems:

Prevalve (mainly cables, phantomization, loading coils)
Valves (amplifiers, carrier systems)
Semiconductors

KEY ACHIEVEMENTS

1844 The telegraph (Morse)
1865 ITU
1876 The telephone (Bell)
1889 The Strowger selector
1901 Transatlantic wireless telegraphy (Marconi)
1906 The triod (Lee de Forest)
1910 Teletraffic theory (Erlang)
1923 Telephotography (Ives)
The iconoscope (Zworykin)
1927 The feed back amplifier (Black)
1930 The coaxial cable
Telex (Siemens)
1937 Pulse code modulation (Reeves)

Fig.1 History of Telecommunication - key achievements 1844-1937

KEY ACHIEVEMENTS

1942 Information theory (Shannon)
1946 ENIAC (Maucly & Eckert)
1947 The transistor (Bardeen, Brattain & Shockley)
1958 The integrated circuit (T I & Fairchild)
1962 Telstar (ATT)
1965 Intelsat in syncronous orbit (Rosen).
Stored program control ESS 1 (ATT)
1966 Conception of step index optical fibre (Kao)
1970 Laboratory tests with first practical optical fibre (Maurer)
1971 The microprocessor (Intel)
1976 Fiber optical transmission in operation (ATT)

Fig.2 History of Telecommunication - key achievements 1942-1976

and as regards media

- Cable,wire,radio relay links
- Satellites
- Optical fibres

Switching technology has passed through three main periods:

- Manual
- Automatic exchanges based on electro-magnetic components.
- Automatic exchanges based on electronic components.

Switching equipment represents the main volume of production in the telephone industry. This is particularly the case with L.M.Ericsson, whose production consists of: telephone sets 10%, cable and wire 10%, transmission equipment 15% and telephone exchanges 65%. Electronization has had the greatest influence on the switching equipment both from a technical point of view and for production volume.

Before going in detail into the changes in our structure a few words will be mentioned about what the new electronics involves.

A characteristic of the new electronics is that it is a digital technique. It is admirably suited to the control units of telephone exchanges, which in principle may be said - like computers - to have functions of a logic and memory character.

For the part of the switching equipment which transmits the speech currents - the switching network - one can use semiconductors of analog type or mechanical contacts (relay or selector contacts).

By changing to speech in digital form - PCM systems - however, the speech paths can also be built up with digital technique. This is also becoming increasingly common and will be the predominant practice in the future. The other characteristic is - as is wellknown - that very complex circuits are built on chips. The circuits contain a mass of subcomponents - 10 000 transistors is not unusual. The price per transistor becomes very low. The result is that the detailed structure of telephone exchanges is being entirely changed. Other optima arise for the choice of the number of different components.

Fig.3 shows the development so far and what the future development may be expected to be regarding the number of components per surface unit.

The situation can also be illustrated in another way.

A crossbar exchange contains per subscriber line 4-10 relays and about 1.4 crossbar verticals. A electronic exchange contains more than 10 000 transistors per line!

A part of the difference is due to the fact that an electronic exchange is stored-program-controlled, i.e. it is controlled by a set of programmed computers. The programs contain the exchange's mode of behaviour in its environment - the subscribers and the operating personnel. They also contain sections for fault diagnoses. Despite great efforts to achieve standardization of programs there is a considerable amount of software work for every exchange. For a new type of exchange the amount of software work is very extensive.

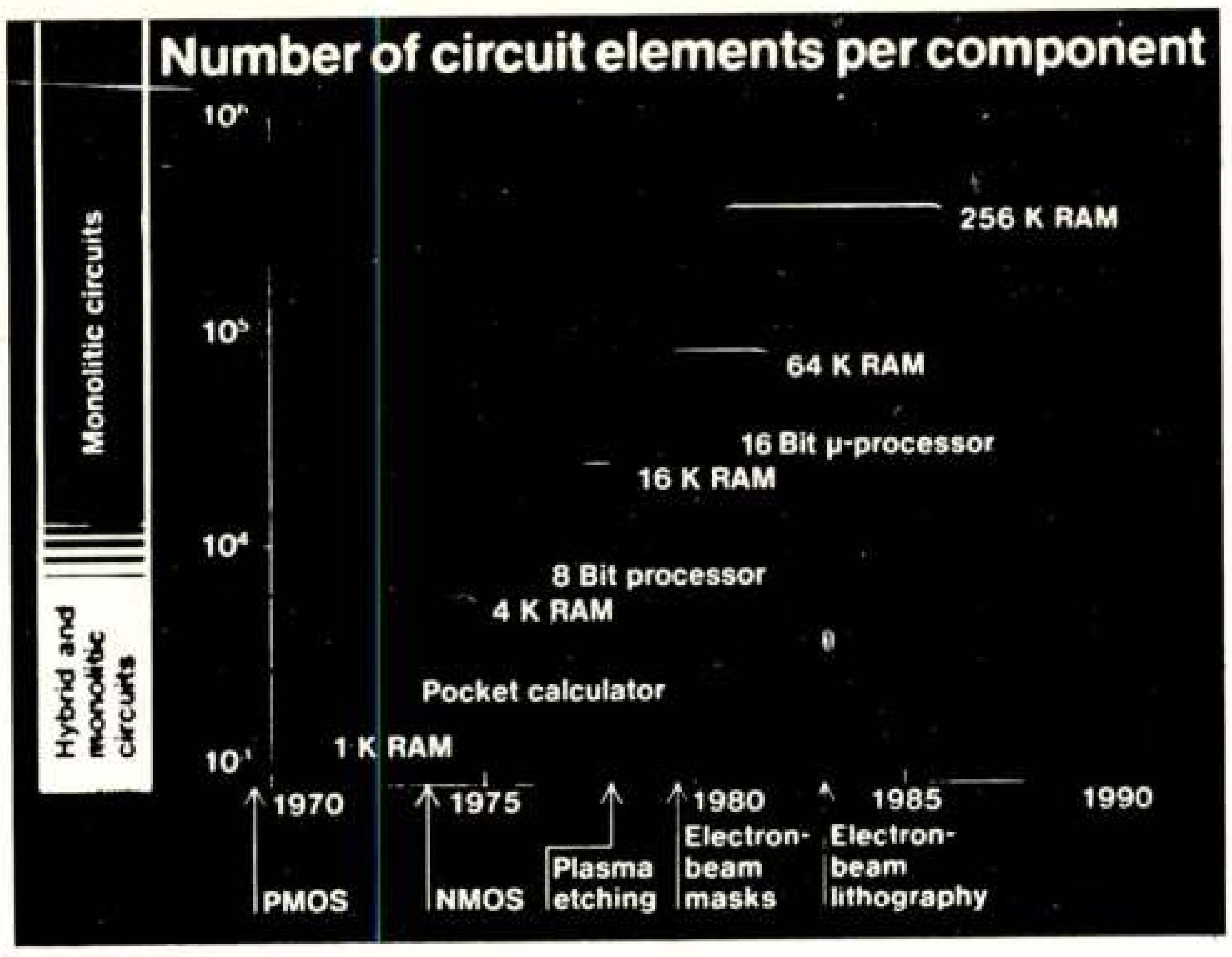


Fig.3 Semiconductor circuits - Number of circuit elements per component - past, present and projected future

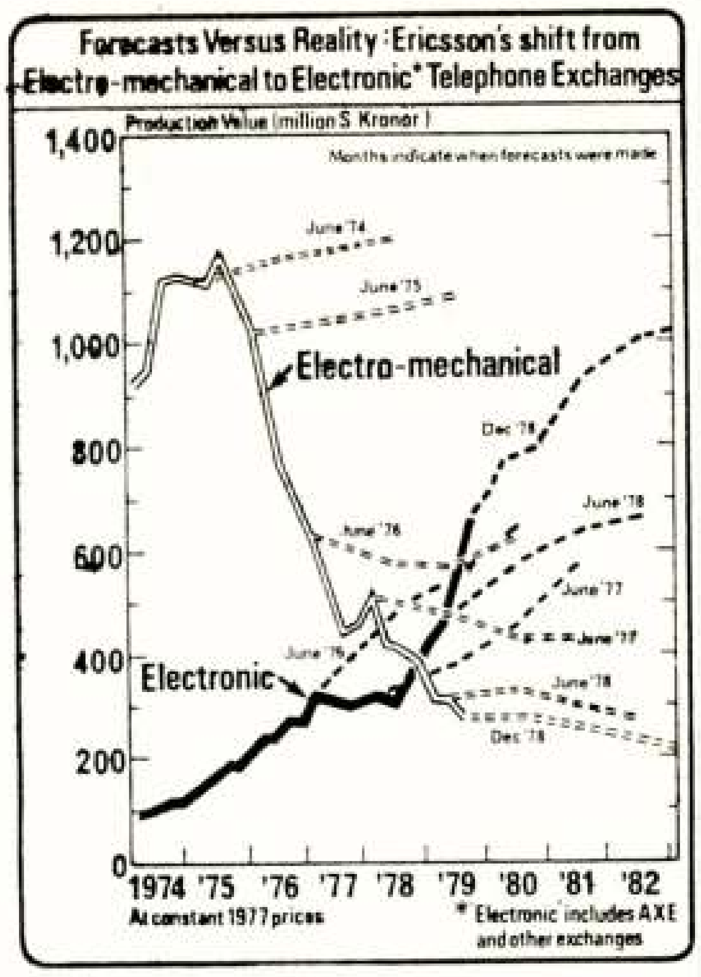


Fig.4 Shift from Electro-mechanical to Electronic Telephone Exchanges - Forecasts versus reality

How, then, has the conversion to electronics worked out in practice? Fig.4 shows that the production of electromechanical systems reached its peak at the end of 1975. It then fell very sharply, now (1980) being stabilized at about one quarter of the peak level. Electronic production increased at the same time, but, to start with, much more slowly. Now, however, it would seem to have reached roughly the same value as that of electromechanical production in 1975. The picture is blurred by the fact that total sales fell in the years 1976-77. Of greater interest is to see how the forecasts changed successively towards a higher proportion of electronic and lower proportion of electromechanical production. This, of course, impose very exacting requirements on flexibility in the production.

Fig.5 shows the composition of the production costs for different kinds of materials. On transition to AXE* analog there is a reduction of value-added in manufacture from 70 to 62%. In conjunction with the present shift to digital AXE there is a further reduction to 51%. At the same time Ericsson becomes a large purchaser of electronic circuits on the world market. As a result of the drop in value-added in Ericsson's factories we now have a different breakdown of the work force in factories and engineering offices.** The number of white-collar workers has remained unchanged, while that of production workers has fallen by one third.

I may add here that Ericsson's policy as regards components is that they shall be manufactured within the Group when they can be produced at, at most, the same price as they can be purchased. To start with, therefore, two categories come under consideration for manufacture within the Group: a) components produced in large volumes, and b) special purpose components, i.e. components designed exclusively for the telephone industry.

This extensive reorganization of the production brings with it many problems. These may be said to exist in three spheres: production engineering, training of staff, and psychological problems. The production technique naturally requires very thorough preparation. A careful study must be made of the processes one wishes to adapt.

It is important to acquire the correct machines for the anticipated production volumes - comparatively large resources must be allocated to testing. These problems are well known in all new production and are solved by input of engineering work and capital.

It could be foreseen that the human problems would be more troublesome. Shop-floor workers must ask themselves: is the company management right in going in for this technique? Can I hold down a job in electronics production? Shall I be discharged owing to lack of work, shall I earn less money, etc.?

* AXE is the Ericsson designation for the Ericsson stored program switching system

** With the present evolution from LSI to VLSI will the value added be even parallel

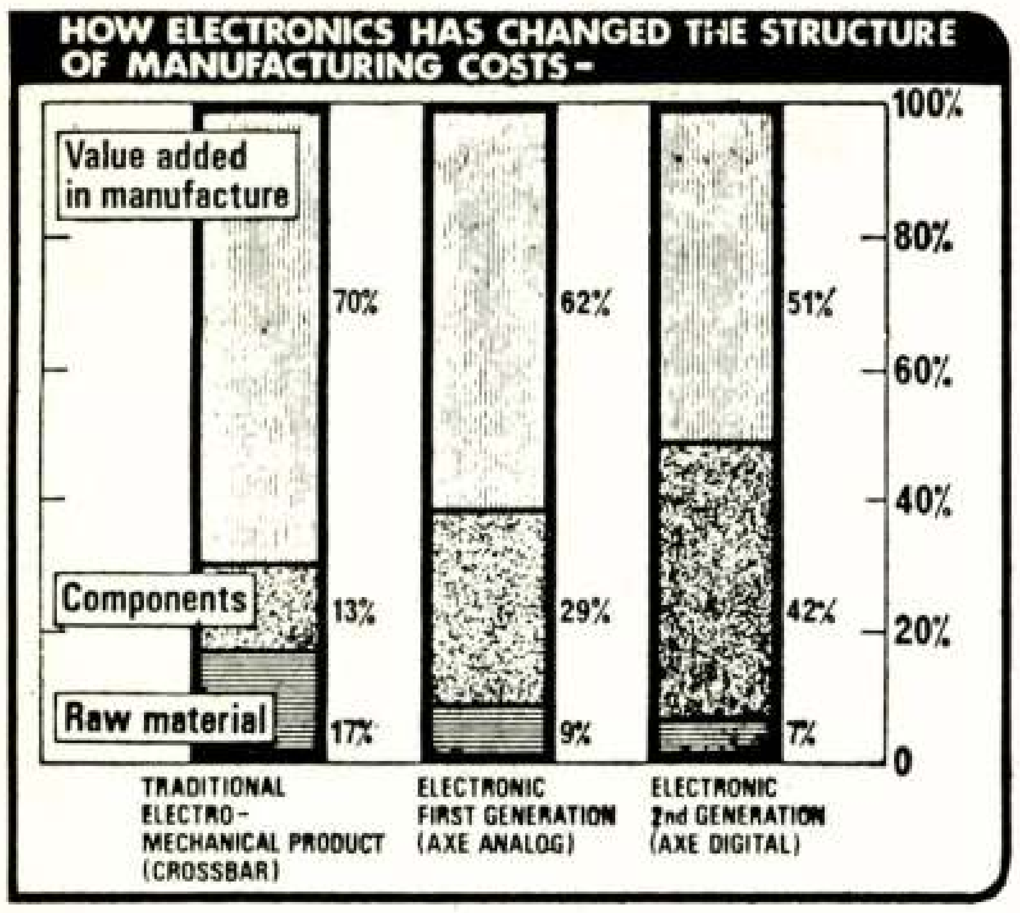


Fig.5 Change of structure of manufacturing costs

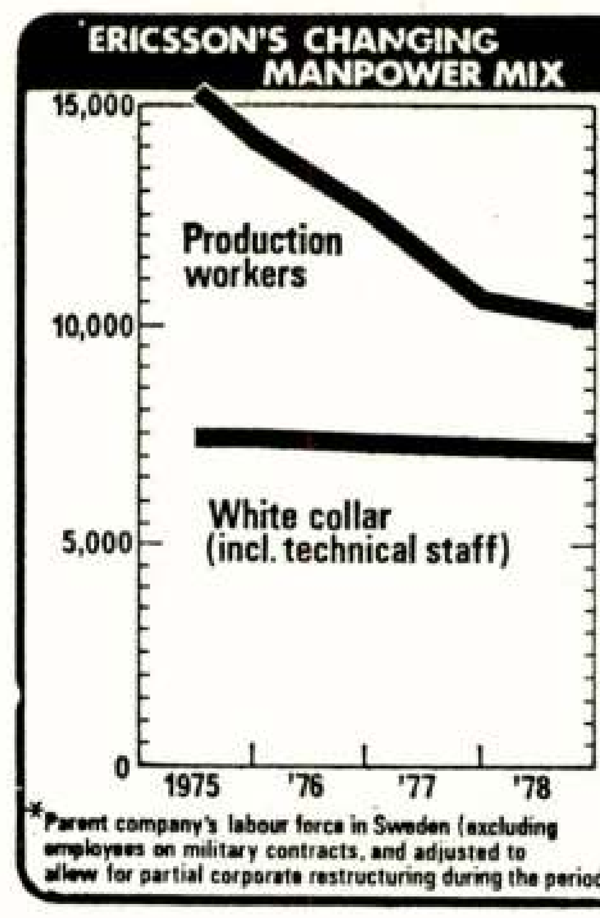


Fig.6 Change of manpower mix over the years 1975-78

It turned out to be fairly easy to convince workers of the necessity to go for electronics. Swedish workers have traditionally had a positive attitude to technical innovations even if their jobs appear to be treatened by them. So, too, in this case: they even accept a reduced level of earnings (for workers who, through skill and hard work, had been able to earn good piecework wages). In some cases, perhaps, it was more difficult to convince white-collar workers of the necessity for changing to electronics. Some of them had become specialists in particular fields and saw that their expert knowledge would be of less value.

Many workers (of both sexes) who had reached a certain age were worried as to whether they could successfully tackle the new type of work. There were even people in supervisory positions who doubted their ability. But the fears proved to be exaggerated. After a fairly short period of adjustment the workers have proved very capable in the new production. The impairment of eyesight and dexterity which we all suffer to different degrees after 50 years of age has not been any hindrance.

There was, of course, an alternative to retraining of the workers for electronics production and that was to take on and train new people. But this would have meant discharging a large number of the earlier workers - a course that was impossible for an employer with social responsibility, and also very difficult on legal grounds. Instead of building new factories for electronics with an entirely new work force, it was decided to convert some of the old factories, wholly or partly, and to retain the existing work force. In this way a conflict with the trade unions could be avoided and the good spirit in the company could be maintained.

On the engineering side we had some difficulty in recruiting software people. There is a shortage of such people throughout the world. Ericsson decided to decentralize this work wherever possible. Thus there are groups of people in many countries engaged on software work for delivery of equipment to their own countries. This is advantageous, as the work is usually done in cooperation with the customer, the local telephone administration. It also brings about a spread of competency within the Group, to which we give high priority.

The changes in switching technology are those that have meant most for the structure of the telephone industry.
Innovations on the telephone set side, involving a consderably larger proportion of electronics, have a similar trend; but as the volume is comparatively small, the consequences are not so radical. Telephone sets contain both analog and digital technique. We are probably quite a long way off from a general digitalization of telephone sets. Developments in office organization and communication equipment for office may, however, place new requirements on electronic production capacity.

Transmission technology has always been electronic apart from the physical circuits.Since the latter will in due course become electronic to come extent, there will be - here too - an increased emphasis on electronics.

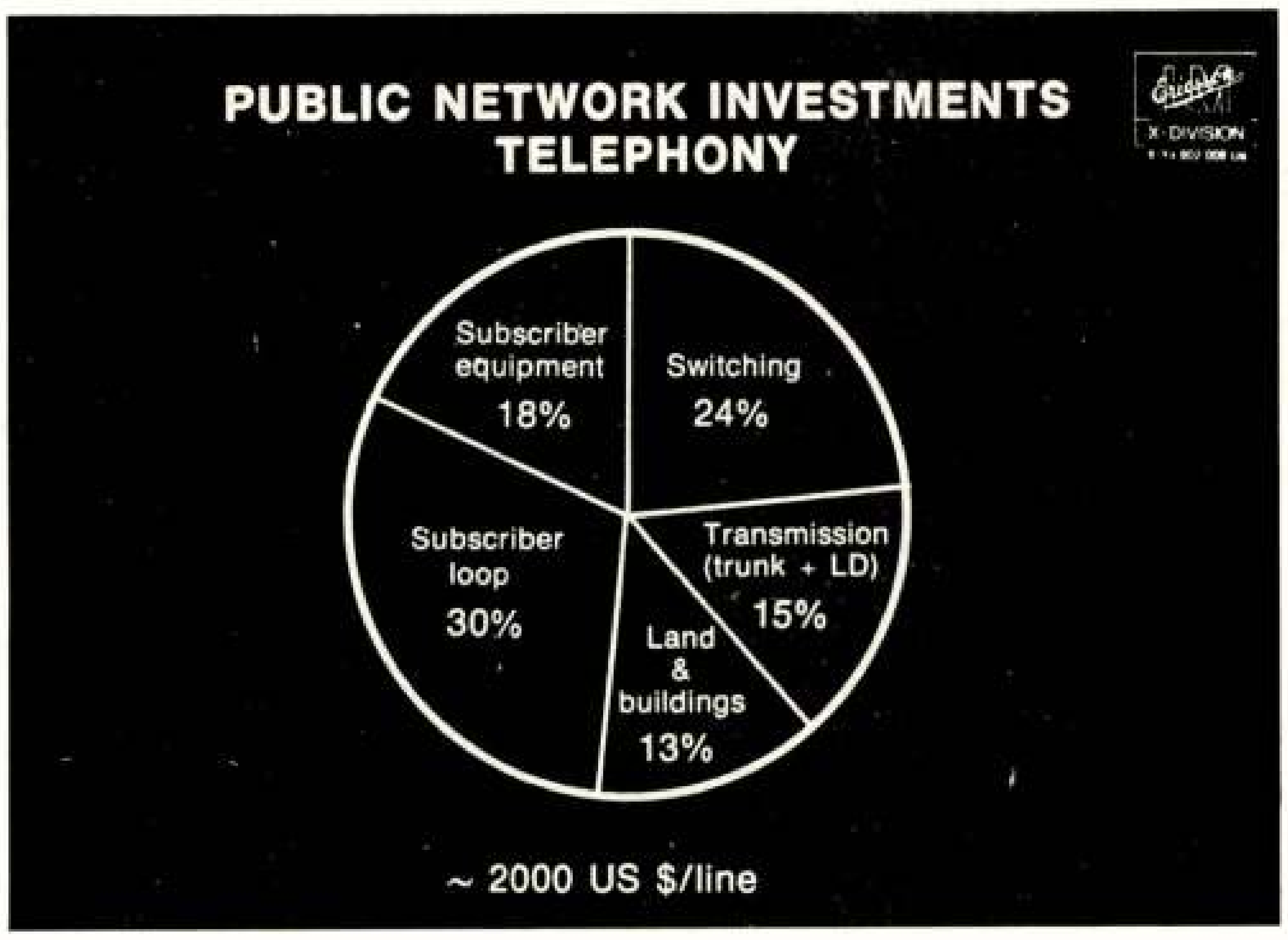


Fig.7 Public network investments in telephony (not commented upon in paper)

Finally a few words about the advantages and disadvantages of the electronic exchanges from the user's standpoint.

As regards those whom the exchanges serve, the subscribers, the advantages may be said to be fairly limited. Telephoning takes place roughly as before. Some new facilities can be introduced, such as abbreviated dialling (i.e. each subscriber can call his commonest "correspondents" by dailling three-digit numbers), automatic transfer, automatic alarm clock, etc., but experience hitherto shows their use to be limited.

With 100% digitalization the transmission characteristics can be standardized within narrow limits, but the subscribers will notice this only in special cases. For the adiministrations the situation is rather different. The electronic exchanges are today hardly cheaper than the electromechanical, but there are good prospects that their prices will fall fail in the future. Savings can be made also since electronic exchanges occupy less space. On the other hand they require more energy for their operation. From the maintenance point of view they are rather better, but more important perhaps is that administrations find it easier to recruit staff for electronics than for electromechanics. Chiefly, however, the administrations place a value on the greater flexibility of the electronic exchanges. They expect, therefore, that adaptation to new requirements will be easier. The way is also opened to 100% digital telephone plant with integrated switching and transmission.

All of this gives administrations the hope of some reduction of costs, at least in the long term, which will also benefit subscribers.

Even if the local network can also be made cheaper, since the exchanges can be divided up, so reducing the average length of subscriber lines, the gains will be moderate.

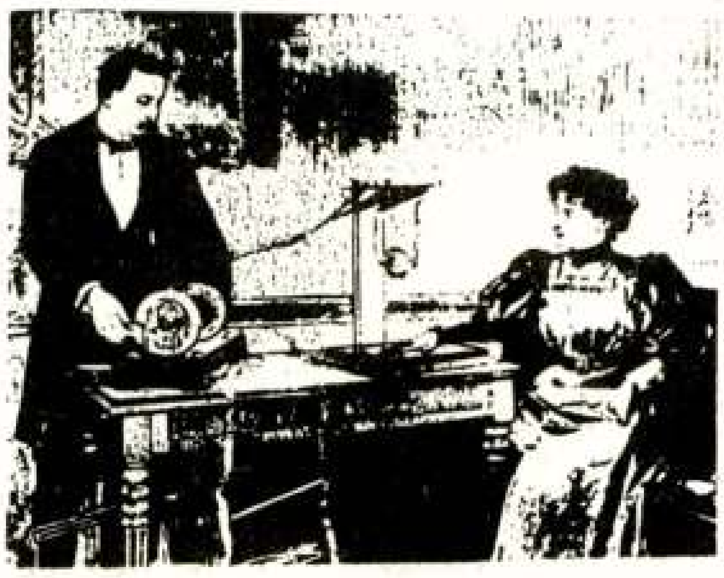
Voordracht gehouden op 11 september 1980 in de Afdeling Elektrotechniek THD tijdens een gemeenschappelijke vergadering van het NERG (nr.291), de Sectie voor Telecommunicatietechniek KIvI, en de Benelux sectie IEEE.

NEDERLANDS ELEKTRONICA- EN RADIOGENOOTSCHAP
Regionale Bijeenkomst Rotterdam

In het kader van het 60-jarig bestaan van het NERG worden er enkele korte regionale bijeenkomsten georganiseerd, waarin wordt stilgestaan bij de voortgaande toepassing van de elektronica in andere vakgebieden en de enorme maatschappelijke betekenis daarvan. Het programma van een regionale bijeenkomst is geheel anders van opzet dan dat van de gangbare werkvergaderingen; niet alleen NERG-leden, maar ook hun familieleden en andere geïnteresseerden krijgen in kort bestek een overzicht van bepaalde ontwikkelingen. Verder zal er een ongedwongen ontmoeting kunnen zijn met vertegenwoordigers van andere vakgebieden, die op grote schaal gebruik maken van de mogelijkheden van de moderne elektronica.

Op 8 november 1895 ontdekte **Wilhelm Conrad Röntgen**, die net buiten onze landsgrenzen geboren is maar in Nederland opgegroeid, een nieuwe stralensoort. Wat er uit deze ontdekking nog eens zou voortvloeien kon hij niet overzien, maar ruimschoots genoeg voor een feestelijke bijeenkomst met als thema:

85 jaar Röntgenstraling



60 jaar Elektronica

van ontdekking tot computer-tomografie

Deze bijeenkomst wordt gehouden in de conferentiezaal van het Academisch Ziekenhuis „Dijkzigt" te Rotterdam op zaterdagmorgen 8 november 1980 van 10.00 tot 12.30 uur. Gastheren zijn **Prof. K. Hoornstra** (Erasmus Universiteit) en **Ir. F. v. d. Meer** (Dijkzigt-Ziekenhuis).

Er zijn belangrijke ontwikkelingen gaande op het gebied van de computer-tomografie (uitgaande van röntgenstraling of kernspinresonantie) binnen Philips Medical Systems; over deze ontwikkelingen zal **Ir. G. J. A. Arink** wat vertellen. Voor deze bijeenkomst is de keus gevallen op een zaterdag omdat het op die dag alleen mogelijk is de apparatuur te bezichtigen.

Parkeerruimte is op die dag doorgaans ook geen probleem. Het Academisch Ziekenhuis Dijkzigt is vanaf het N.S. Station Rotterdam C.S. snel te bereiken met tramlijn 4.

Gezien de beperkte plaatsruimte en de te verwachten grote belangstelling wordt tijdige aanmelding verzocht door middel van de aangehechte kaart, die duidelijk moet worden ingevuld en gefrankeerd met een postzegel van 45 cent. Wie na aanmelding verhinderd mocht zijn dient dit even door te geven aan Ir. F. v. d. Meer, tel. 010-635987.

Rotterdam, oktober 1980.

Namens het voorbereidingscomité,
W. Herstel.

KOMPONENTEN FÜR DIGITALE VIDEOSIGNALVERARBEITUNG IN NMOS-TECHNOLOGIE

P. Draheim
VALVO - RHW - Philips GmbH Hamburg

Der Bericht behandelt die Entwicklung von Komponenten für videofähige A/D- und D/A-Wandler in NMOS-Technik. Es wird zunächst das unter anderem angestrebte Ziel eines 8 Bit A/D-Wandlers nach dem Pipelining-Verfahren dargestellt und danach die schon realisierten Komponenten sowie ein 8 Bit D/A-Wandler.

In Abb. 1 ist das Blockschaltbild des 8 Bit-A/D-Wandlers nach dem Pipelining-Verfahren zu sehen. Das analoge Eingangssignal wird einer Track + Hold-Schaltung zugeführt und von dort einem 4-Bit Grobkonverter mit 15 Komparatoren. Hinter dem Grobkonverter liegt ein Signal im 1-aus-16 Code vor, das in einen Binär-Code umgewandelt wird. Die in dem Grobkonverter erzeugten, binär codierten 4 Most-Significant-Bit (MSB's, B4-B7) werden danach in einem Latch zwischengespeichert.

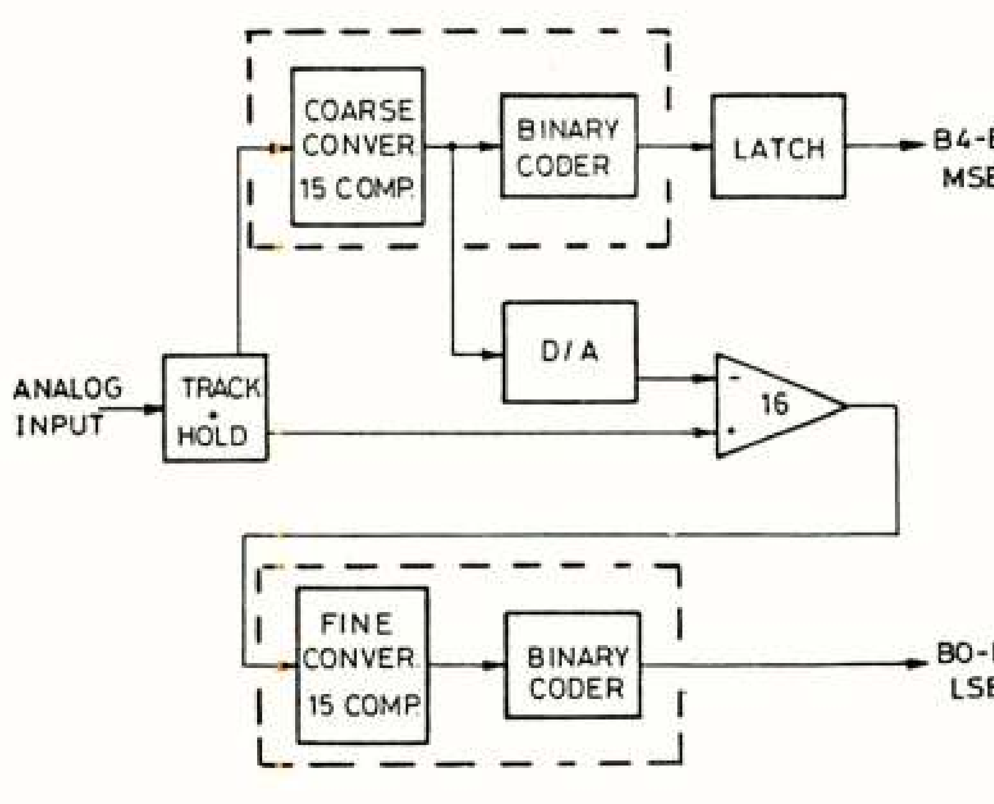


Abb. 1: 8-Bit A/D-Konverter nach dem Pipelining Verfahren

Weiterhin wird das 1-aus-16 codierte Signal hinter dem Grobkonverter einem D/A-Wandler zugeführt und das rückgewandelte Signal gleichzeitig mit dem Eingangssignal aus der Track + Hold-Schaltung in einem 16-fach Differenzverstärker verstärkt auf den Eingang des 4-Bit-Feinkonverters gegeben. Der Feinkonverter ist identisch wie der Grobkonverter aufgebaut und er erzeugt die Least-Significant-Bits (LSB's, BO-B3).

Ein solcher A/D-Wandler ist vom Bauelementeaufwand gegenüber einem voll parallelen 8-Bit A/D-Wandler mit 255 Komparatoren sehr ökonomisch und hat die gleiche Wandlungsrate wie ein voll paralleler. Jedoch ist diese Entwicklung aus zwei Gesichtspunkten nicht unproblematisch.

Erstens muß der 4 Bit-Grobkonverter eine Linearität von 8 Bit haben, da die in ihm erzeugten Linearitätsabweichungen um den Faktor 16 durch den Differenzverstärker verstärkt dem Feinkonverter zugeführt werden und dort zu einem fehlerhaften Ergebnis führen.

Zweitens darf der Differenzverstärker keinen Offset haben und die absolute Verstärkung muß auf 16 ± 1 d.h. ± 6 % genau sein.

Für die Fehlerkorrektur des Grobkonverters sind Fehlerkorrekturschaltungen entwickelt worden, die bei einer A/D-Wandler-Eingangsspannung von 3 V_{SS}, Komparatorfehler bis zu ± 80 mV im Grobkonverter ausregeln können und somit eine ausreichende Linearität gewährleisten.

Zur Reduktion des Offsets im Differenzverstärker wurde ein getakteter Verstärker entwikkelt und durch die Anwendung eines Doppeldifferenzverstärkersystems, in dem auch die Referenzspannung für den Feinkonverter von der Verstärkung abhängt, die Abhängigkeit von der absoluten Verstärkung von ± 6 % auf die relative Verstärkungsdifferenz von ± 6 % zweier benachbarter Differenzverstärker reduziert. Dies ist in integrierter Technik gut darstellbar. Die in dem Pipelining-System angestrebte Spezifikation sieht folgendermaßen aus:

-	Auflösung	8 Bit monoton
-	Taktrate	20 MHz
-	Bandbreite	6 MHz (3 dB)
-	Eingangssignal	3 V_{SS}
-	Versorgungsspannung	+ 12 V ± 10 %
		+ 5 V ± 10 %
-	Verlustleistung	< 1 W
-	Ausgangs Level	TTL
-	Takt Level	TTL

Wie man der Spezifikation entnehmen kann zielt diese Entwicklung auf eine Anwendung in der digitalen Signalverarbeitung von Fernsehempfangsgeräten.

Als erste Basiszelle wurde ein 4 Bit A/D-Wandler mit 15 Komparatoren und einem eingebauten D/A-Wandler in einem NMOS-Prozeß mit kleinsten Strukturen von 4 µm entwickelt. Abb. 2 zeigt das Chipfoto.

Die aktive Chipfläche (ohne Bond-Pads) war ca. 1 mm^2 und dieser A/D-Wandler hatte folgende Eigenschaften:

-	Auflösung	4 Bit
-	Linearität	> 5 Bit
-	Taktrate	>20 MHz
-	Bandbreite	6 MHz (3 dB)
-	Verlustleistung	< 0.1 W

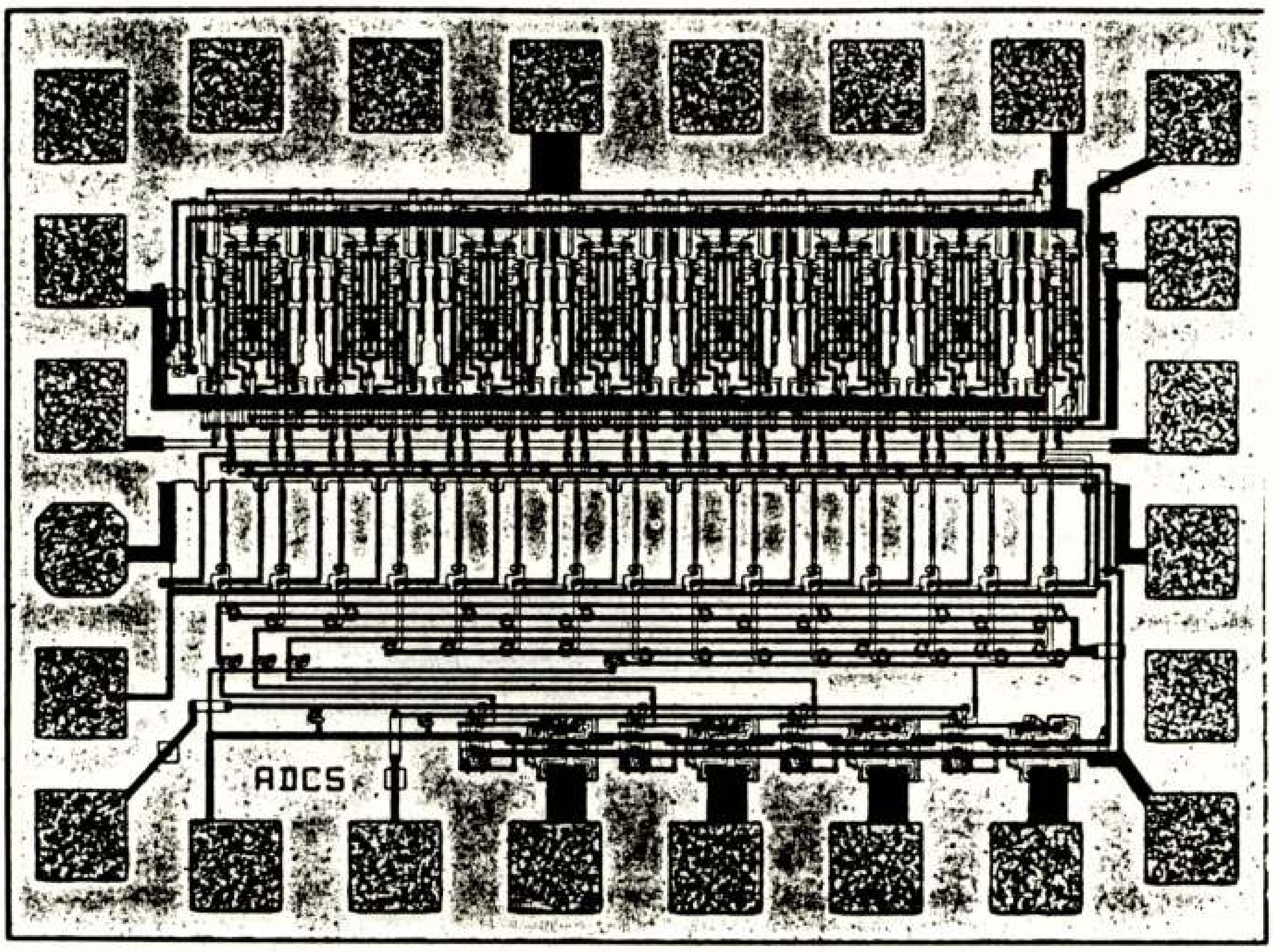


Abb. 2: Chipfoto des 4 Bit A/D-Konverters

Aufgrund der guten Linearität (> 5 Bit) wurde im gleichen Prozeß mit den gleichen Komparatoren ein 6 Bit paralleler A/D-Wandler mit 63 Komparatoren entworfen.

Abb. 3 zeigt das Logikdiagramm mit den 63 Komparatoren K1-K63, den nachgeschalteten Flip-Flops, hinter denen ein n-aus-64 Code vorliegt, den NOR-Gattern zur Umcodierung in den 1-aus-64 Code und dem ROM 63x6 zur Binär-Codierung. In Abb. 4 ist das Chipfoto zu sehen. Dieser 6 Bit-A/D-Wandler hatte eine aktive Fläche von 2 mm^2 und die gemessenen Werte waren:

-	Auflösung	6 Bit
-	Linearität	> 6 Bit
-	Taktrate	>20 MHz
-	Bandbreite	5 MHz
-	Verlustleistung	< 0.3 W

Die Linearität war ausreichend um zwei 6 Bit-A/D-Wandler parallel zu schalten und so einen 7 Bit parallelen A/D-Wandler aufzubauen.

Neben den hier aufgeführten A/D-Wandler Entwicklungen wurde auch ein 8 Bit D/A-Wandler entworfen. Abb. 5 zeigt das Logikdiagramm. Das im Binär-Code vorliegende Eingangssignal wird auf 255 NOR-Gatter gegeben, die dieses Signal in ein 1-aus-256 Code-Signal umcodiert. Dieses 1-aus-256 Code-Signal wird dann getaktet 255 "Transmission-Gates" zugeführt, die dann, je nachdem welches Transmission-Gate von dem 1-aus-256 Signal angesprochen wird, eine Spannung von dem Referenzspannungsteiler auf die Ausgangsleitung schalten. Der Referenzspannungsteiler besteht aus einer Poly-Silizium-Bahn mit 255 Abgriffen. Der absolute Widerstandswert dieses Spannungsteilers ist nicht von Bedeutung, sondern nur die relativen Widerstandsverhältnisse zwischen den einzelnen Abgriffen.

In Abb. 6 ist das Chip-Foto dieses D/A-

Wandlers zu sehen, der ebenfalls eine aktive Chipfläche von 2 mm^2 hatte.

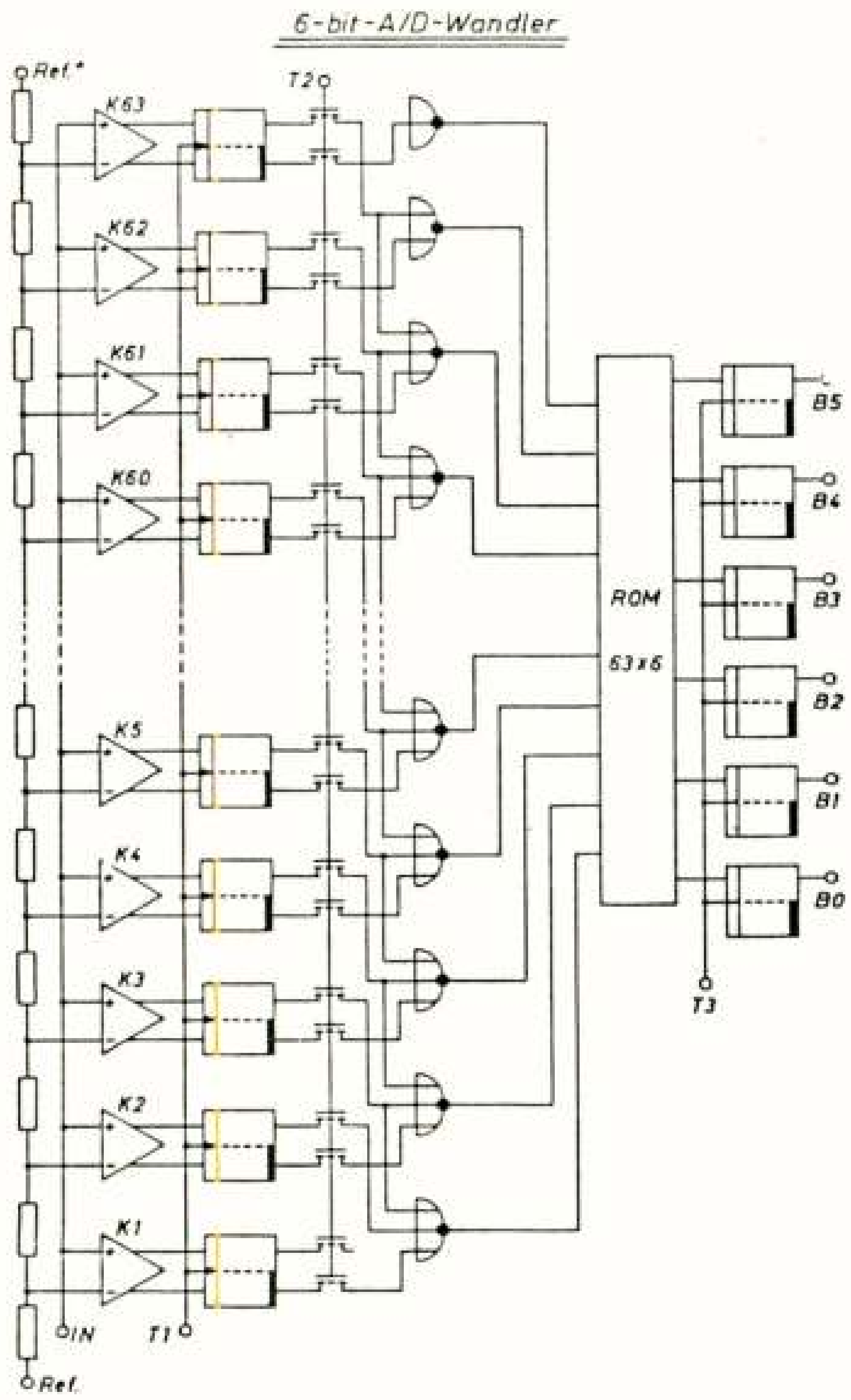


Abb. 3: Logikdiagramm

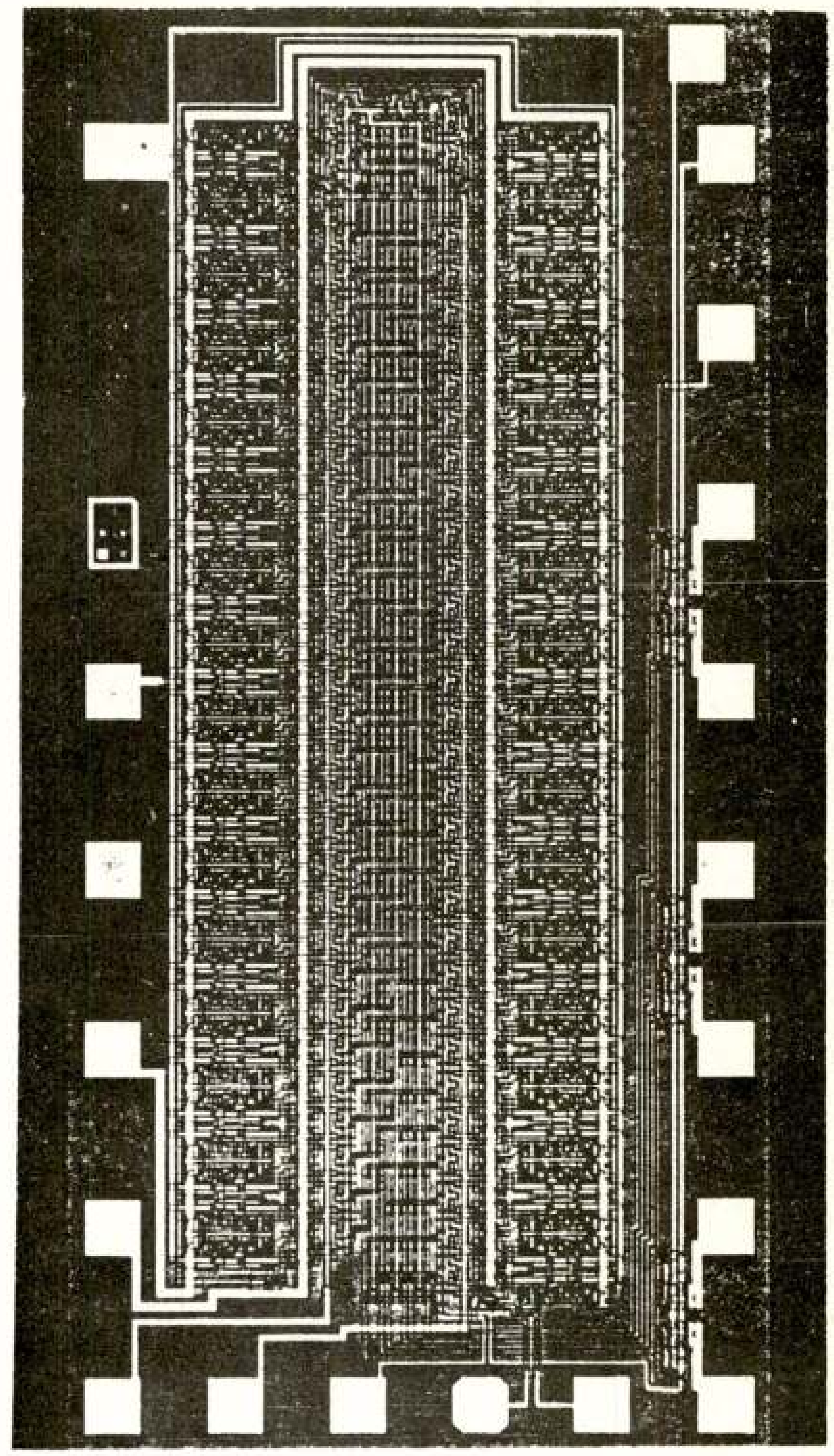


Abb. 4: Chipfoto eines 6 Bit A/D-Konverters

Die Linearität war besser als 1/2 LSB, die Taktrate größer 20 MHz und die Verlustleistung kleiner 0,3 Watt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß diese Komponenten die Basis für eine digitale Signalverarbeitung in der Konsumelektronik darstellen, zumal sie in einer NMOS-Technologie realisiert worden sind, in der auch alle Funktionseinheiten einer digitalen Videosignalverarbeitung darstellbar sind.

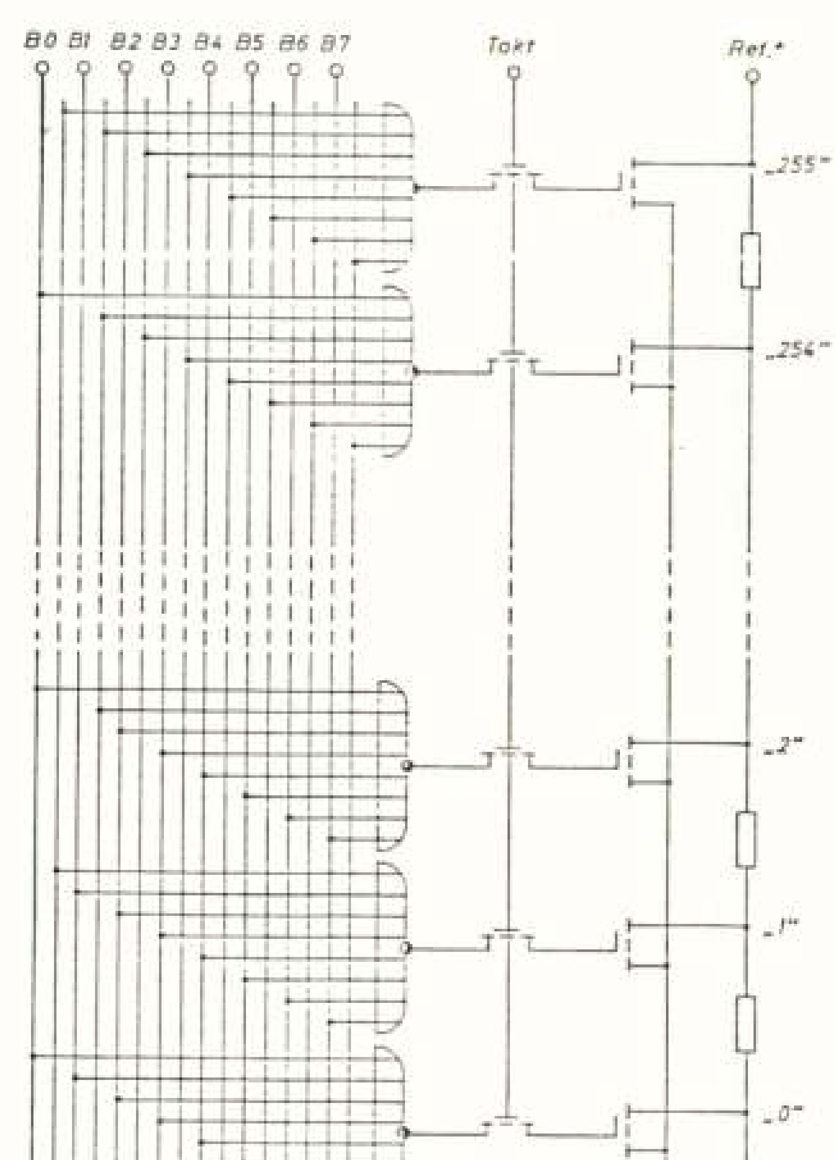


Abb. 5: Logikdiagramm eines 8 Bit D/A-Wandlers

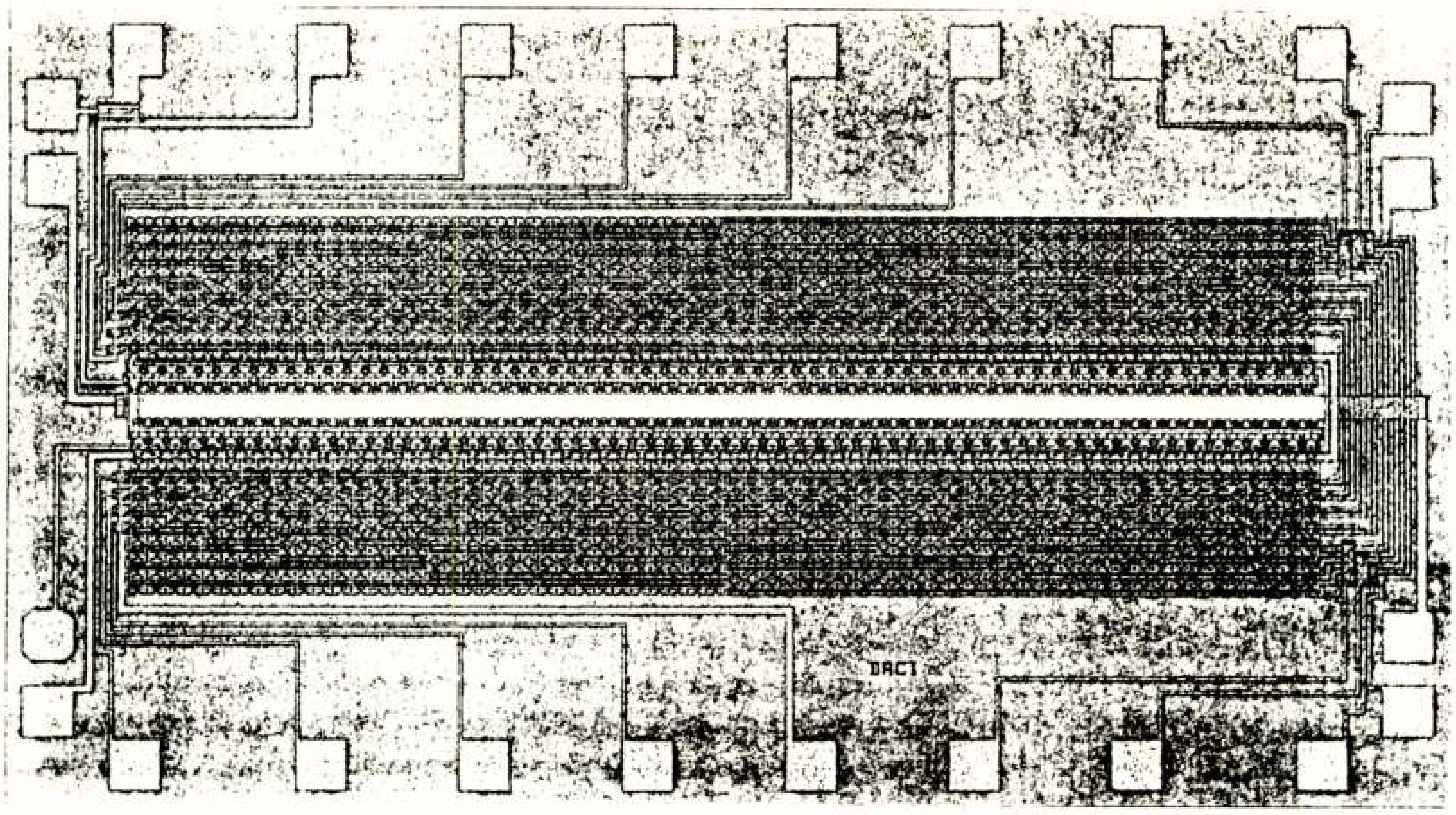


Abb. 6: Chipfoto des 8 Bit D/A-Konverters

Voordracht gehouden op 30 oktober 1980 op de THE tijdens een gemeenschappelijke vergadering van het NERG (nr.292), de Sectie voor Telecommunicatietechniek KIvI, en de Benelux sectie IEEE.

RELAXATIE-METHODEN IN DIGITALE BEELDSEGMENTATIE

Ir. J.J. Gerbrands
Technische Hogeschool Delft
Afdeling der Elektrotechniek
Vakgroep Informatietheorie

Relaxation methods in digital image segmentation. Probabilistic relaxation label procedures are discussed in the context of low-level image segmentation. Two examples are discussed in detail. The first is the reinforcement of edges as proposed by Schachter et al. The second example deals with image segmentation by clustering in the feature domain followed by relaxation in the spatial domain. The features used are gray-level and texture.

INLEIDING

Tot het gebied van de digitale beeldverwerking kan men alle met digitale hulpmiddelen uitgevoerde bewerkingen op beelden rekenen. Hierbij wordt het begrip 'beeld' zeer ruim opgevat als twee-dimensionale data. Voorbeelden hiervan zijn fotografische opnamen van met het blote oog waarneembare verschijnselen, maar ook opnamen die verkregen zijn met behulp van röntgen- of gammastraling, radar of sonar, elektronenmicroscopie, radio-astronomie, etc. Met betrekking tot het doel van de verwerking onderscheidt men in het algemeen (Rosenfeld 1976a, Gonzalez, 1977, Pratt 1978, Castleman 1979) een viertal deelgebieden binnen de digitale beeldverwerking: *beeldcodering* (voor een zo efficiënt mogelijke transmissie of opslag van beelden), *beeldreconstructie* (het terugwinnen van een beeld vanuit een vervormde en/of verruiste versie op grond van mathematische modellen), *beeldverbetering* (op empirie gebaseerde technieken om de voor een bepaald probleem relevante beelddelen te benadrukken) en *beeldanalyse* (analyse van een beeld in termen van de door het beeld gerepresenteerde verschijnselen). Een belangrijke stap in het beeldanalyse-proces wordt gevormd door de beeldsegmentatie.

BEELDSEGMENTATIE

Bij het coderen, reconstrueren of verbeteren van beelden wordt het resultaat van de bewerkingen opnieuw gevormd door een beeld. Dit is bij beeldanalyse niet het geval. De bewerkingen resulteren nu in uitspraken omtrent de fenomenen die door het beeld gerepresenteerd worden. Als we bijvoorbeeld röntgenopnamen van de kransslagaders van het hart analyseren, kunnen de resultaten van de digitale analyse bestaan uit uitspraken omtrent de positie en ernst van vernauwingen in deze kransslagaders (Gerbrands 1980). Om dergelijke uitspraken te kunnen doen is het noodzakelijk een beschrijving van het beeld op te stellen in termen van de verschillende gebieden of componenten waarin het beeld ontleed kan worden. In het beeldanalyse-proces kan dan ook veelal een eerste stap van beeldsegmentatie worden onderscheiden. Bij deze segmentatie wordt van ieder beeldpunt vastgesteld tot welk deelgebied het behoort. Indien deze gegevens in een matrix worden geplaatst, vormt deze een plattegrond van het beeld waarop de deelgebieden in kaart zijn gebracht. In de verdere analyse wordt van deze plattegrond gebruik gemaakt om de gebieden te classificeren of te beschrijven. In de beeldsegmentatie-stap blijven de gebieden onbenoemde en betekenisloze elementen, waaraan pas op hogere niveaus in het veelal hiërarchisch opgebouwde analyse-proces betekenis wordt toegekend. De plaats van de segmentatie-stap in het analyse-proces wordt geïllustreerd in het sterk vereenvoudigde schema van Fig. 1.

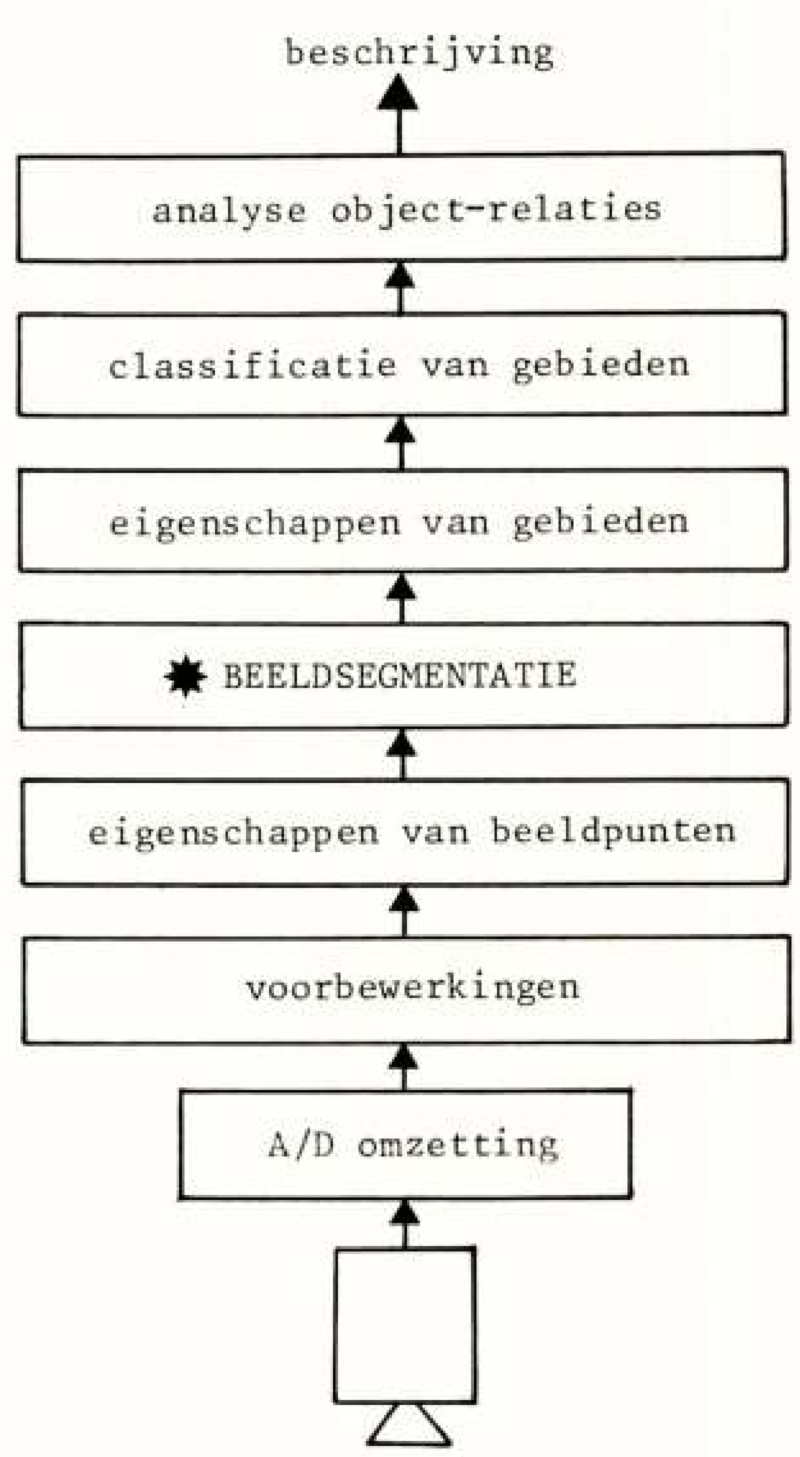


Fig. 1: Plaats van Beeldsegmentatie binnen beeldanalyse.

Het is natuurlijk wel de bedoeling dat het segmentatieresultaat interpretatie op hogere niveaus mogelijk maakt. Dit betekent dat de ontwerper doelgericht en probleemgebonden te werk moet gaan bij het inrichten van de segmentatieprocedure.

Los van een specifieke probleemstelling wordt de doelstelling van beeldsegmentatie geformuleerd als het verdelen van een beeld in deelgebieden die "homogeen zijn in een bepaalde eigenschap". Elk beeldpunt a_i uit de verzameling beeldpunten $A = \{ a_1, a_2, \ldots , a_N\}$ krijgt één uniek etiket of label λ_1 uit de verzameling labels Λ met $\Lambda = \{ \lambda_1, \lambda_2, \ldots , \lambda_k\}$ toegewezen dat aangeeft tot welk deelgebied het beeldpunt behoort. Er bestaat een grote verscheidenheid aan beeldsegmentatie-technieken om deze label-toekenning te verzorgen. De meeste hiervan kunnen worden gecombineerd met een relaxatie-procedure met als doel contextuele inconsistenties in de label-toekenning te reduceren.

RELAXATIE-LABELPROCEDURE

Relaxatie-labelprocedures zijn iteratieve procedures die er op gericht zijn contextuele informatie te gebruiken om lokale inconsistenties in de label-toekenning te reduceren. We gaan hierbij uit van een initiële label-toekenning, waarmee bedoeld wordt dat aan ieder beeldpunt $a_i \in A$ een verzameling mogelijke labels $\Lambda_i \subseteq \Lambda$ wordt toegekend. Voorts dienen we te beschikken over kennis omtrent de verenigbaarheid of compatibiliteit van elk label van een beeldpunt a_i met de labels van de buurpunten van a_i.

Een label-toekenning heet ondubbelzinnig als aan elk beeldpunt a_i precies één label is toegekend, dat compatibel is met het label van elk van de buren. Uitgaande van een dubbelzinnige initiële label-toekenning met meer dan één mogelijk label per beeldpunt worden nu de labels van naburige punten in rekening gebracht via de compatibiliteitsrelaties teneinde de dubbelzinnigheid te verminderen of geheel weg te nemen. De initiële label-toekenning wordt verkregen met behulp van operatoren die werken op het niveau van de beeldpunten van het aangeboden beeld en is dus data-afhankelijk. De compatibiliteits-relaties drukken de verenigbaarheid van labels uit. Ze worden in het algemeen gekozen voor de gehele klasse van te segmenteren beelden en bieden de gelegenheid onze heuristische a priori-kennis omtrent het probleem in de procedure in te brengen.

In de zogenaamde discrete relaxatie-methoden is een label voor een bepaald beeldpunt ôf mogelijk ôf onmogelijk en zijn labels voor naburige beeldpunten ôf verenigbaar ôf onverenigbaar. Het discrete relaxatie-algoritme verwijdert dan uit de initiële label-verzameling van elk punt de labels die niet met ten minste één label van elk van de buren verenigbaar zijn, om zo te komen tot een ondubbelzinnige label-toekenning (Rosenfeld 1976b).

We beperken ons nu verder tot de zogenaamde probabilistische relaxatie-methoden (Rosenfeld 1976b, Zucker 1978). Hierbij wordt een label λ_1 in zekere mate of met een zekere betrouwbaarheid aan een beeldpunt a_i toegekend, hetgeen wordt uitgedrukt in weegfactoren $P_i(\lambda_1)$. Deze weegfactoren voldoen aan

$$P_i(\lambda_1) \geqslant 0 \tag{1}$$

$$\sum_1 P_i(\lambda_1) = 1 \tag{2}$$

Hierdoor kan men $P_i(\lambda_1)$ opvatten als een schatting van de kans dat label λ_1 het correcte label is voor beeldpunt a_i. In een probabilistische relaxatie-procedure worden nu deze schattingen iteratief bijgesteld op grond van de schattingen van de kansen van de labels van de naburige punten en de bijbehorende compatibiliteits-coëfficiënten. De compatibiliteits-coëfficiënt van label λ_1 voor beeldpunt a_i en label λ_h voor beeldpunt a_j wordt aangeduid met $C_{ij}(\lambda_1,\lambda_h)$. Deze compatibiliteits-coëfficiënten mogen waarden aannemen in het interval $[-1,1]$. Hierbij betekent $C_{ij}(\lambda_1,\lambda_h) = 1$ dat label λ_1 voor a_i zeer verenigbaar is met label λ_h voor beeldpunt a_j, een waarde -1 betekent dat label λ_1 voor a_i onverenigbaar is met λ_h voor a_j terwijl $C_{ij}(\lambda_1,\lambda_h) = 0$ aangeeft dat label λ_1 voor a_i niet beïnvloed wordt door λ_h voor a_j. Voor overige situaties kunnen tussenliggende waarden worden gekozen.

Bij het iteratief bijstellen van de schattingen van de kansen wordt gebruik gemaakt van een bijstel-regel van de vorm

$$P_i^{t+1}(\lambda_1) = \Phi\{ P_i^t(\lambda_1) \; ; \Delta_{til} \} \tag{3}$$

waarin t het nummer van de iteratie aangeeft en Δ_{til} de invloed van de omgeving. In iedere iteratie worden de schattingen voor alle labels λ_1 voor alle beeldpunten a_i bijgesteld met een in principe parallel algoritme. Hier betekent parallel dat binnen een iteratie de resultaten in een bepaald punt niet beïnvloed worden door de binnen die iteratie elders verkregen resultaten, zodat alle bewerkingen simultaan zouden kunnen worden uitgevoerd. Een veel gekozen mogelijkheid voor de functie $\Phi\{ . ; . \}$ is de volgende niet-lineaire bijstel-regel:

$$P_i^{t+1}(\lambda_1) = \frac{P_i^t(\lambda_1)\,[\,1 + \Delta_{til}\,]}{\sum_1 P_i^t(\lambda_1)\,[\,1 + \Delta_{til}\,]} \tag{4}$$

waarin de omgevingsinvloed wordt gedefinieerd als

$$\Delta_{til} = \sum_j d_{ij} \sum_h C_{ij}(\lambda_1,\lambda_h)\, P_j^t(\lambda_h) \tag{5}$$

De sommatie over j in (5) wordt uitgevoerd over de beeldpunten a_j in de te beschouwen omgeving van het beeldpunt a_i. Met de coëfficiënten d_{ij} kan de totale invloed die a_j heeft op a_i worden gewogen. Kiest men deze weegcoëfficiënten zodanig dat geldt

$$\sum_j d_{ij} = 1 \tag{6}$$

dan volgt daaruit dat

$$\Delta_{til} \in [-1,1] \tag{7}$$

waardoor te allen tijde voldaan is aan de eis (1) dat de schattingen van de kansen niet-negatief zijn. Daarnaast draagt de noemer in (4) zorg voor de eis (2) dat de som van de schattingen voor de kansen van de labels in ieder beeldpunt steeds gelijk blijft aan 1. Eigenschappen als

convergentie en stabiliteit van probabilistische relaxatie met behulp van bijstel-regel (4) worden beschreven in (Zucker 1978). In de volgende paragrafen behandelen we een tweetal voorbeelden.

VOORBEELDEN

Rand-dectectie

Indien de in het beeld te onderscheiden gebieden van elkaar verschillen in (gemiddelde) helderheid, kan gebruik gemaakt worden van segmentatie-methoden die gebaseerd zijn op het detecteren van de randen van de gebieden. Deze randen komen overeen met veranderingen in de helderheid, die in principe met differentiërende operatoren gedetecteerd kunnen worden. Het verdient aanbeveling deze operatoren zo in te richten dat de ruisinvloeden enigszins beperkt worden. In dit voorbeeld maken we dan ook gebruik van de volgende operatoren δ_y en δ_x:

$$\delta_y = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \qquad \delta_x = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} +1 & 0 & -1 \\ +1 & 0 & -1 \\ +1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \tag{8}$$

Het oorspronkelijke beeld wordt twee-dimensionaal geconvolueerd met beide operatoren, waarbij het resultaat $\delta_y(i)$ respectievelijk $\delta_x(i)$ wordt toegekend aan het beeldpunt a_i waarvan de positie overeenkomt met het centrum van de operator. De operator δ_y heeft een differentiërend karakter in vertikale richting en is dan ook het meest gevoelig voor horizontale randen. De operator δ_x is juist het meest gevoelig voor vertikale randen. Beide operatoren samen kunnen worden gecombineerd in de richtingsongevoelige gradiënt waarvan de modulus M(i) en de richting θ(i) worden gegeven door:

$$M(i) = \sqrt{\{\delta_y(i)\}^2 + \{\delta_x(i)\}^2} \tag{9}$$

$$\theta(i) = \arctan \frac{\delta_y(i)}{\delta_x(i)} \tag{10}$$

Als een beeldpunt a_i op de rand tussen twee gebieden ligt, is de waarde van M(i) relatief hoog. Als randpunten worden dan ook gewoonlijk die punten a_i gedetecteerd waarvoor geldt dat M(i) een bepaalde drempelwaarde overschrijdt. In termen van het toekennen van labels aan de beeldpunten komt dit overeen met het gebruik van twee labels, hier aangeduid met R(rand) en $\overline{R}$ (geen rand), die worden toegewezen op grond van de modulus van de gradiënt. Teneinde nu in deze procedure van rand-detectie een probabilistische relaxatie-fase op te nemen, kunnen de initiële schattingen van de kansen op de labels R en $\overline{R}$ worden gebaseerd op de gemeten waarden van de modulus van de gradiënt volgens

$$P_i(R) = \frac{M(i)}{\underset{u}{MAX}\ M(u)} \tag{11}$$

waarbij het maximum in de noemer wordt bepaald over het gehele beeld. De schatting van de kans dat a_i géén randpunt is wordt dan

$$P_i(\overline{R}) = 1-P_i(R) \tag{12}$$

De compatibiliteits-coëfficiënten dienen nu zodanig gekozen te worden dat $P_i(R)$ wordt verhoogd als een randelement in a_i ook wat richting betreft ondersteuning vindt in de omgeving en juist verlaagd wordt als dat niet het geval is. De richting van het randelement door een punt wordt loodrecht genomen op de richting van de gradiënt in dat punt. De richting van de rand in het te beschouwen punt a_i wordt aangeduid met α, de richting in een buurpunt a_j met β, de richting van de verbindingslijn van a_i naar a_j met γ en de afstand tussen a_i en a_j met d. Door Schachter c.s. (Schachter 1977) zijn nu de volgende compatibiliteits-coëfficiënten voorgesteld:

$$c_{ij}(R,R):\ \cos(\alpha-\gamma).\cos(\beta-\gamma).2^{-d} \tag{13}$$

$$c_{ij}(R,\overline{R}):\ \min[0,\ -\cos(2\alpha-2\gamma).2^{-d}] \tag{14}$$

$$c_{ij}(\overline{R},R):\ (1-\cos(2\beta-2\gamma)).2^{-(d+1)} \tag{15}$$

$$c_{ij}(\overline{R},\overline{R}):\ 2^{-d} \tag{16}$$

Het effect van deze keuze van de compatibiliteits-coëfficiënten wordt geïllustreerd met een aantal voorbeelden in Fig. 2. In deze figuur komt het gesloten pijltje overeen met het randelement door het te beschouwen punt a_i, het open pijltje met de rand door a_j, terwijl het label $\overline{R}$

	α	β	γ	
↑ ⇧	90	90	0	$c(R,R) = 0$
⇧ / ↑	90	90	90	$c(R,R) = 2^{-d}$
↑ / ⇩	90	270	270	$c(R,R) = -2^{-d}$
↑ •	90		0	$c(R,\overline{R}) = 0$
↑ / •	90		270	$c(R,\overline{R}) = -2^{-d}$

Fig. 2: Voorbeelden van de compatibiliteits-coëfficiënten

wordt aangeduid met een stip. Een positieve waarde van de compatibiliteits-coëfficiënt betekent versterking, een negatieve verzwakking van het betreffende label.



Fig. 3: testbeeld 256x256 8 bit



Fig. 4: Modulus van gradiënt



Fig. 5: Relaxatie-resultaat (5 iteraties)



Fig. 6: Drempel-resultaat van Fig. 4.



Fig. 7: Drempel-resultaat van Fig. 5

Ter illustratie passen we de hier geschetste methode toe op het testbeeld van Fig. 3. De modulus van de gradiënt is gegeven in Fig. 4 en het relaxatie-resultaat na vijf iteraties in Fig. 5. In beide figuren is de helderheid in een beeldpunt evenredig met de schatting van de kans dat het beeldpunt een randpunt is. Fig. 6 representeert het resultaat als een beslissingsdrempel wordt aangelegd op de modulus van de gradiënt (Fig. 4), terwijl Fig. 7 het resultaat is van drempeling na vijf iteraties. De drempels in beide figuren zijn zodanig gekozen dat 10% van de beeldpunten als rand geclassificeerd wordt. In dit experiment is voor de afstand d de zogenaamde schaakbord-afstand genomen (Rosenfeld 1976a). De beschouwde omgeving in de relaxatie-procedure wordt gevormd door de acht buren van elk beeldpunt. Opgemerkt moet nog worden dat ook de richting $\theta(i)$ van de gradiënt iteratief werd bijgesteld en daarmee de hoeken α en β van de randelementen. Voor details wordt verwezen naar (Schachter 1977).

Cluster-segmentatie

In dit tweede voorbeeld van het gebruik van relaxatie-procedures in de beeldsegmentatie gaat het om een segmentatie-methode waarbij alle beeldpunten worden geclassificeerd in een aantal klassen met behulp van technieken uit de statistische patroonherkenning (Duda 1973). Hierbij wordt van elk beeldpunt een aantal kenmerken bepaald, die worden geplaatst in een kenmerkvector. Door middel van deze kenmerkvector wordt ieder beeldpunt afgebeeld in de kenmerkruimte. Afhankelijk van zijn positie in de kenmerkruimte wordt vervolgens ieder beeldpunt geclassificeerd tot een van de te onderscheiden klassen.

Indien men geen voorkennis heeft over de omliggende statistische verdelingen in de kenmerkruimte, noch de beschikking heeft over een voldoend groot aantal a priori gelabelde leersamples, kan men gebruik maken van zogenaamde cluster-methoden bij het ontwerpen van het classificatie-mechanisme. Hierbij wordt uitgegaan van de kenmerkvectoren van een verzameling ongelabelde beeldpunten, die worden afgebeeld in de kenmerkruimte. Met behulp van een cluster-algorithme brengt men nu een partitie teweeg van de verzameling in een aantal homogene clusters. De term homogeen betekent hier dat beeldpunten in hetzelfde cluster in hun kenmerkbeschrijving onderling meer gelijkenis vertonen dan ten opzichte van punten in andere clusters. Van de gevonden clusters worden de centra bepaald, die vervolgens bijvoorbeeld in een minimum-afstandsclassificator gebruikt kunnen worden.

In dit voorbeeld wordt als eerste kenmerk de helderheid of grijswaarde van de beeldpunten genomen. Als tweede kenmerk kiezen we een zogenaamde textuurmaat. Textuur kan worden omschreven als de lokale variaties in de grijsniveaus, die karakteristiek zijn voor de aard van een waargenomen oppervlak. Textuurmaten zijn er op gericht deze karakteristieke lokale variaties te kwantificeren. Er bestaat een groot aantal van deze textuurmaten (Haralick 1979). In dit voorbeeld gebruiken we de door Haralick voorgestelde maat GLD-ASM om in een 5x5 venster rond ieder beeldpunt de textuur te kwantificeren, waarna de gevonden textuurwaarde steeds als kenmerk wordt toegevoegd aan het beeldpunt dat overeenkomt met het centrum van het venster. Op deze manier wordt aan alle 65536 beeldpunten van het testbeeld van Fig. 3 een twee-dimensionale kenmerkvector toegevoegd.

Met een aselecte steekproef van 6500 beeldpunten is vervolgens de cluster-analyse uitgevoerd. Hierbij is gebruik gemaakt van het zogenaamde "k-means cluster algorithm" (Ball 1967). Het principe van dit algorithme is

als volgt. Kies k (bijvoorbeeld 5) initiële clustercentra in de kenmerkruimte. Vervolgens worden de data-punten toegewezen aan een clustercentrum op grond van een minimum-afstandscriterium. Van de op deze wijze gevonden clusters worden weer de centra bepaald. De procedure wordt herhaald tot de clustercentra niet meer verschuiven. Toepassing van dit cluster-algorithme leidde in ons geval tot drie clusters.

Classificatie van alle 65536 beeldpunten op grond van een minimum-afstandscriterium ten opzichte van de drie clustercentra resulteert in het in Fig. 8 weergegeven gesegmenteerde beeld. De segmentatie is nogal gefragmenteerd. Het cluster-algorithme zoekt homogene clusters in de kenmerkruimte, maar dit behoeft nog niet te leiden tot een segmentatie in homogene gebieden in het beelddomein. De lokale consistentie in de label-toewijzing kan weer worden verbeterd door een probabilistische relaxatie-procedure.

De initiële schattingen van de kansen op de verschillende labels worden afgeleid uit de afstanden van een datapunt in de kenmerkruimte tot de verschillende clustercentra volgens

$$P_i(\lambda_1) = \frac{1}{c-1}\left[1 - \frac{d_i(\lambda_1)}{\sum_1 d_i(\lambda_1)}\right] \qquad (17)$$

waarbij c het aantal clusters is en $d_i(\lambda_1)$ de afstand van het met beeldpunt a_i overeenkomende data-punt in de kenmerkruimte tot het centrum van het met label λ_1 aangegeven cluster.

De compatibiliteits-coëfficiënten worden hier gekozen vanuit de gedachte dat we streven naar relatief grote gebieden met eenzelfde label. Vanuit die achtergrond maken we in dit voorbeeld gebruik van

$$C_{ij}(\lambda_1,\lambda_k) = \begin{cases} 1 \text{ als } \lambda_1 = \lambda_k \\ -1 \text{ als } \lambda_1 \neq \lambda_k \end{cases} \qquad (18)$$

omdat het meer voor de hand ligt dat buurpunten in het beeld hetzelfde label hebben dan een verschillend label. Het is duidelijk dat deze keuze van de compatibiliteitscoëfficiënten weinig subtiel is, waardoor o.m. langgerekte smalle gebieden (de statiefpoten in Fig. 3) weinig overlevingskans hebben.



Fig. 8: Clusterresultaat



Fig. 9: Clusteren gevolgd door relaxatie

Het resultaat van de probabilistische relaxatie-labelprocedure met de in (17) gedefinieerde initiële kansen en de in (18) gegeven compatibiliteitscoëfficiënten is weergegeven in Fig. 9

SLOTOPMERKINGEN

Uit de hier gegeven voorbeelden moge blijken dat probabilistische relaxatie-methoden zeker van nut kunnen zijn bij het segmenteren van beelden. In feite wordt hiermede de segmentatie-procedure een hiërarchische procedure waarbij op het niveau van de oorspronkelijke beeldpunten de initiële schattingen van de labelkansen worden opgesteld, terwijl op een hoger niveau deze schattingen worden bijgesteld op basis van de lokale context. Opgemerkt dient nog te worden dat relaxatie-procedures rekenintensief zijn. De rekentijden liggen in de orde van 1 minuut per iteratie voor een 256x256 beeld met de hier gehanteerde experimentele FORTRAN-programma's op een IBM-370/158 rekensysteem.

De auteur hecht eraan, de samenwerking met P.C.W. Sommen, H.A.J. Merkus, R.M. Bolle, E. Backer en IJ. Boxma op deze plaats te noemen.

LITERATUUR

G.H. Ball en D.J. Hall, "A clustering technique for summarizing multivariate data", Behavioral Science, 12 (1967), 153-155.

R.O. Duda en P.E. Hart, Pattern Classification and Scene Analysis. New York (Wiley) 1973.

K.R. Castleman, Digital Image Processing. Englewood Cliffs, New Jersey (Prentice-Hall) 1979.

J.J. Gerbrands, J.H.C. Reiber en F. Booman, "Computer Processing and Classification of Coronary Occlusions". In: Pattern Recognition in Practice (E.S. Gelsema en L.N. Kanal, eds.), Amsterdam (Noord-Holland) 1980.

R.C. Gonzalez en P. Wintz, Digital Image Processing. Reading, Mass. (Addison-Wesley) 1977.

R.M. Haralick, "Statistical and Structural Approaches to Texture", Proc. IEEE, 67 (1979) 786-804.

W.K. Pratt, Digital Image Processing. New York (Wiley) 1978.

A. Rosenfeld en A.C. Kak, Digital Picture Processing. New York (Academic) 1976a.

A. Rosenfeld R.A. Hummel en S.W. Zucker, "Scene Labeling by Relaxation Operations", IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, SMC-6 (1976b) 420-433.

B.J. Schachter, A. Lev, S.W. Zucker en A. Rosenfeld, "An Application of Relaxation Methods to Edge Reinforcement", IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, SMC-7 (1977) 813-816.

S.W. Zucker, E.V. Krishnamurthy en R.L. Haar, "Relaxation Processes for Scene Labeling: Convergence, Speed, and Stability", IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, SMC-8 (1978) 41-48.

Voordracht gehouden op 30 oktober 1980 op de THE tijdens een gemeenschappelijke vergadering van het NERG (nr.292), de Sectie voor Telecommunicatietechniek KIvI, en de Benelux sectie IEEE.

OPTIMAAL STATISTISCH FILTEREN VAN BEELDEN

Ir. J. Biemond
Technische Hogeschool Delft
Afdeling der Elektrotechniek, Vakgroep Informatietheorie

Optimal statistical filtering of images. An optimal line-by-line recursive Kalmanfilter is derived for restoring images degraded by spatially invariant degradation phenomena in the presence of additive white noise. Results of several filter experiments on noisy motion blurred images and on noisy defocussed images are presented.

INLEIDING

Afbeeldingen of beelden van een scène (in de optica: object) zijn in meer of mindere mate behept met vervorming en ruis. Dit komt omdat geen enkel beeldvormend systeem (elektronenmicroscoop, camera, telescoop) een perfect, onvervormd beeld afgeeft. Ruis kan geïntroduceerd worden tijdens de opname, in de transmissieweg of gedurende het registratieproces (korrelruis), terwijl bij vervorming gedacht kan worden aan sferische aberratie van lenzen, bewegingsonscherpte, onjuiste focussering, niet-lineaire eigenschappen van fotografische materialen, geometrische vervorming of - bij telescoopfoto's - vervorming ten gevolge van atmosferische turbulenties.

Is een afbeelding van groot belang om beslissingen te nemen, of erg zeldzaam, (satellietbeelden, elektronenmicroscoopbeelden, historische opnamen), dan kan gevraagd worden naar technieken die de vervorming en de ruis minimaliseren en een gereconstrueerd beeld opleveren. Men definieert beeldreconstructie dan als een vorm van (digitale) beeldverwerking, waarbij men het oorspronkelijke beeld "zo goed mogelijk", d.w.z. gebruik makend van een objectief evaluatiecriterium, tracht terug te winnen uit een vervormde en door ruis gestoorde versie. Dit is een bewerking achteraf, men gaat er vanuit dat het beeldvormend systeem een gegeven is, waar men geen invloed meer op heeft.

In figuur 1 is het hier te hanteren model van het beeldvormende systeem geschetst:

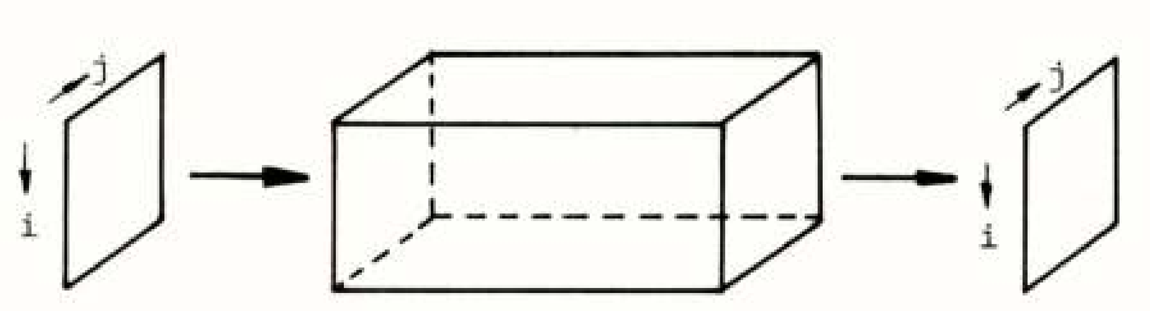


Fig. 1. Beeld(ver)vormend systeem.

Het origineel $x(i,j)$ dat in de optica aangeduid wordt als het object, doorloopt een twee-dimensionaal (2-D) beeldvormend systeem. Het uitgangsbeeld $y(i,j)$ is het beeld dat wij ter beschikking hebben. De bedoeling is nu, uitgaande van $y(i,j)$, het origineel $x(i,j)$ te reconstrueren. We beperken ons tot monochrome, discrete beelden, die gerepresenteerd worden door het helderheidsniveau $x(i,j)$ (resp. $y(i,j)$) in ieder punt (i,j) met i de rij-index en j de kolomindex in het gebied $1 \leq i \leq M$, $1 \leq j \leq N$.

Het is belangrijk om op te merken dat beeldreconstructie *a priori kennis* vereist omtrent het originele beeld, de aard van de vervorming en de ruis. Zonder enige a priori kennis is het onmogelijk om zelfs maar te ontdekken dat er iets fout is met een gegeven beeld. Het is immers de a priori kennis die ons leert dat de korrelstructuur van een foto een artefact is en dus eigenlijk niet op de foto thuishoort.

Omtrent het originele beeld zouden we graag structurele informatie bezitten. De werkelijkheid, zoals die besloten ligt in een beeld is meestal zo complex, dat a priori deterministische of linguistische modellen buiten bereik blijven. Daarom hanteert men vaak eenvoudige statistische beschrijvingswijzen: het onvervormde beeld wordt gemodelleerd als het 2-D scalaire uitgangssignaal van een lineair systeem L_1, gestuurd door Gaussisch witte ruis.

De vervorming die door het beeldvormend systeem geïntroduceerd wordt, is in het algemeen zeer complex. Echter in veel gevallen van praktische betekenis, zoals lineaire bewegingsonscherpte, defocussering en atmosferische turbulenties kan een lineaire systeembeschrijving gehanteerd worden. Een vervormd beeld kan dan worden verkregen als uitgangssignaal van een lineair systeem L_2, met als ingangssignaal het onvervormde beeld.

De observatieruis is meestal stochastisch van aard, en wordt beschreven met behulp van een kansdichtheid. We veronderstellen de ruis additief Gaussisch wit, onafhankelijk van het beeld, en toegevoegd aan het reeds vervormde beeld.

Zodoende kan een vervormd en door ruis gestoord beeld $y(i,j)$ gemodelleerd worden als het uitgangssignaal van een lineair systeem L (L_1 en L_2 in cascade), gestuurd door

witte ruis, waaraan vervolgens additieve observatieruis wordt toegevoegd (zie fig. 2).

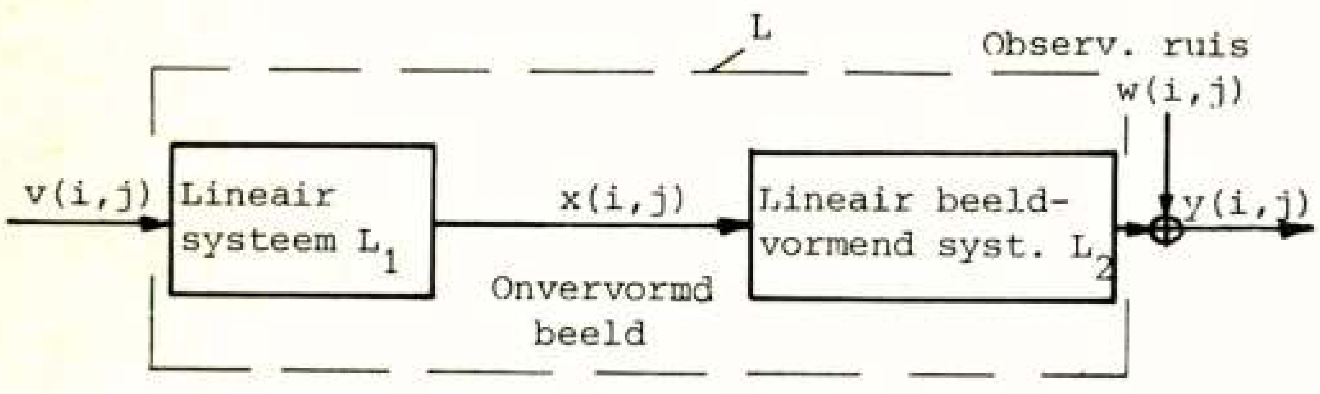


Fig. 2: Vervormd en door ruis gestoord beeld, gemodelleerd als uitgangssignaal van een lineair systeem gestuurd door witte ruis.

Vanwege de statistische beschrijving van zowel beeld als ruis wordt het reconstructieprobleem opgevat als een optimaal filterprobleem. Door de aanwezigheid van observatieruis zijn inverse filtermethoden vrijwel onbruikbaar. Het gereconstrueerde beeld wordt verkregen aan de uitgang van een lineair filter, waaraan de vervormde en verruiste observaties worden toegevoerd. Het filter wordt hierbij zodanig gekozen, dat het gemiddelde kwadratische verschil tussen het oorspronkelijke beeld x(i,j) en het gereconstrueerde beeld $\hat{x}(i,j)$:

$$\varepsilon^2 = E[\{x(i,j)-\hat{x}(i,j)\}^2] \qquad (1)$$

geminimaliseerd wordt (zie fig. 3).

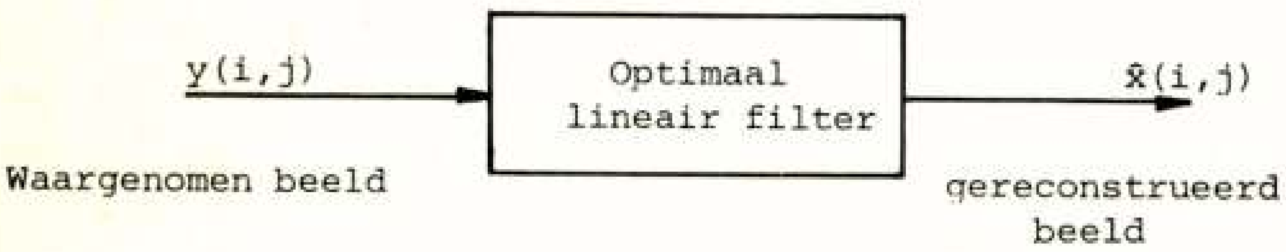


Fig. 3: Beeldreconstructie als optimaal lineair filterprobleem.

Een tweetal optimaal statistische filters komt in aanmerking: het Wienerfilter en het Kalmanfilter. Beide filters gebruiken dezelfde a priori kennis, n.l. de autocorrelatiefuncties van beeld en ruis, en de overdrachtsfunctie van het beeld(ver)vormende systeem. Bovendien minimaliseren ze beide de gemiddelde kwadratische fout. Zodoende kan dezelfde reconstructiekwaliteit verwacht worden. Toch is gekozen voor het Kalmanfilter om de volgende redenen:

(1) het Kalmanfilter is recursief implementeerbaar,
(2) de toepassing van het Kalmanfilter is in principe niet beperkt tot stationaire processen.

Voor de afleiding van het Kalmanfilter is een lineair dynamisch model nodig, dat enerzijds een recursieve beschrijving geeft van de statistische eigenschappen van het oorspronkelijke beeld (het beeldmodel L_1) en dat anderzijds de vervorming en de ruis modelleert (het beeldvormend systeem L_2). We zullen achtereenvolgens op beide modellen L_1 en L_2 wat dieper ingaan.

RECURSIEVE BESCHRIJVING VAN HET BEELDMODEL L_1

Door een beeld op te vatten als een realisatie van een homogeen discreet stochastisch veld

$$\{\underline{x}(i,j),\ i=1,2,\ldots,M,\ j=1,2,\ldots,N\}$$

is het mogelijk de eerste- en tweede-orde eigenschappen van dit veld te gebruiken als a priori statistische kennis voor het ontwerpen van recursieve beeldmodellen:

$$E\{\underline{x}(i,j)\} = \mu$$
$$R(k,l) = E[\underline{x}(i,j)\underline{x}(i+k,j+l)] \qquad (2)$$

Twee veelvuldig in de literatuur gebruikte autocorrelatiefuncties om een klasse van beelden te beschrijven zijn (Jain, 1977):

(1) Scheidbaar negatief-exponentiële autocorrelatiefunctie:

$$R(k,l) = \sigma^2 \rho_v^{|k|} \rho_h^{|l|}, \qquad (3)$$

met σ^2 de variantie van het beeld en ρ_v en ρ_h de vertikale en horizontale correlatiecoëfficiënt (zie fig. 4).

(2) Isotrope correlatiefunctie

$$R(k,l) = \rho^{\sqrt{k^2+s^2l^2}} \qquad (4)$$

met ρ de correlatiecoëfficiënt en s een vormparameter (zie fig. 5).

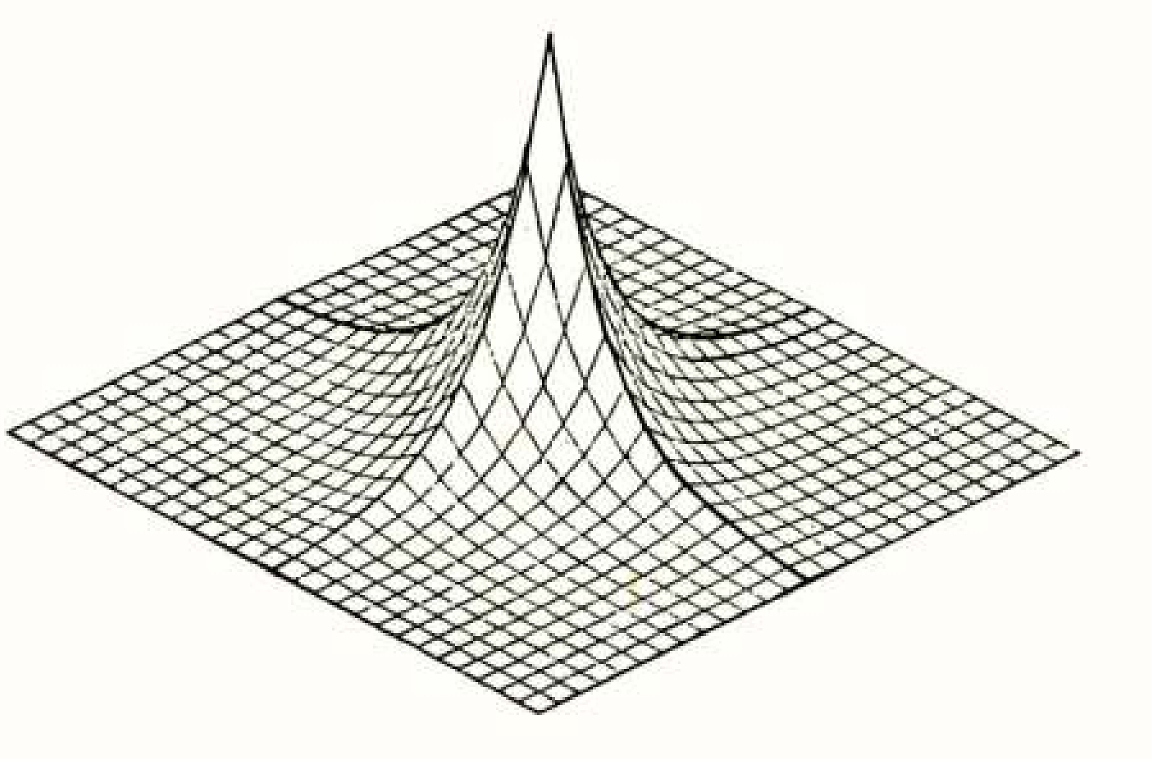


Fig. 4: Scheidbare negatief-exponentiële autocorrelatiefunctie.

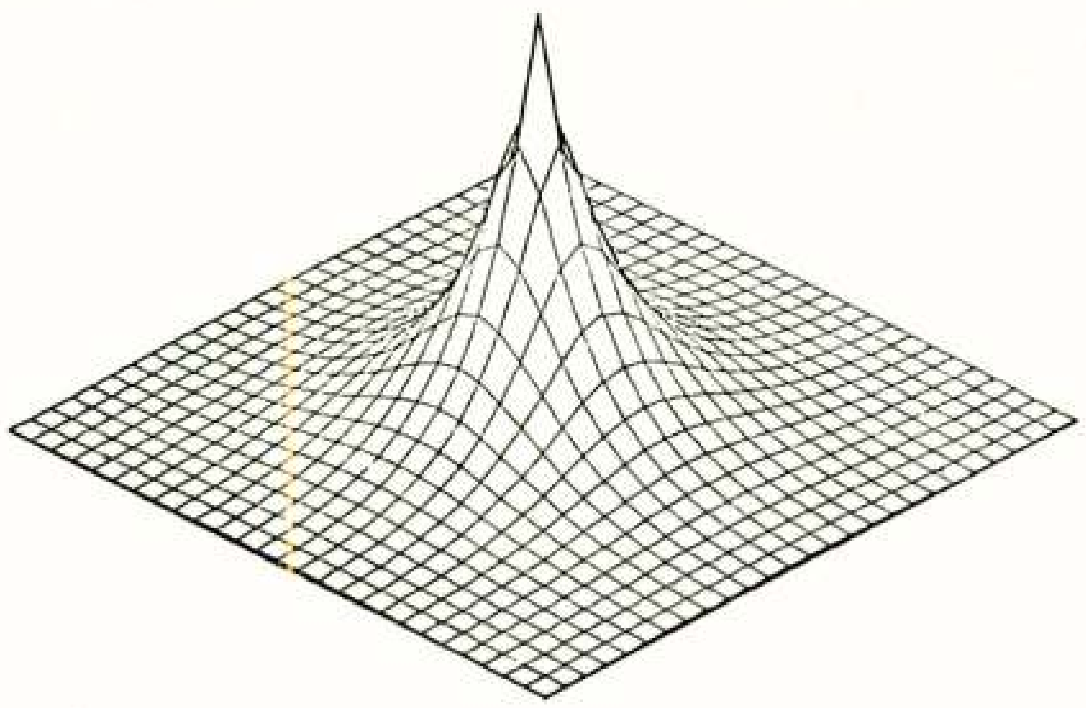


Fig. 5: Isotrope autocorrelatiefunctie s=1.

De vraag dient zich nu aan, hoe op basis van de statistische gegevens in (2) een recursief beeldmodel opgesteld kan worden in de vorm van een stochastische differentievergelijking. In analogie met het 1-D geval zou gedacht kunnen worden aan het schema in fig. 6. Dit schema is echter niet in zijn geheel bruikbaar door het ontbreken van een algemeen 2-D spectraal factorisatietheorema. Concluderend kan gezegd worden dat het uitgaande van een geschikte eerste- en tweede-orde beschrijving in het algemeen niet mogelijk is één-éénduidig een stochastische differentievergelijking op te stellen. Het probleem wordt in de literatuur daarom meestal omgekeerd. Uitgegaan wordt van een algemene stochastische differentievergelijking als beschrijving van een 2-D stochastisch veld:

$$x(i,j) = \sum_{p,q} a(p,q)x(i+p,j+q)+v(i,j) \quad (p,q) \in S \qquad (5)$$

d.w.z. de helderheid van een beeldpunt $x(i,j)$ wordt geschreven als een eindige som van omliggende beeldhelderheden $x(i+p,j+q)$ en een stochastische term $v(i,j)$. Deze stochastische term kan gezien worden als ingangssignaal van het proces of als de fout die gemaakt wordt bij het genereren van $x(i,j)$ met behulp van $x(i+p,j+q)$ met $(p,q) \in S$. S is een coördinatenverzameling met uitsluiting van $(p,q) = (0,0)$. Met de keuze van de verzameling S is de structuur van het beeldmodel vastgelegd. Aangenomen wordt dat $x(i,j)$ en $v(i,j)$ gemiddelde waarden nul bezitten. Door een geschikte keuze van de coefficienten $a(p,q)$ kan men een model zo goed mogelijk aanpassen aan de gegeven eerste- en tweede-orde statistiek, bijv. door de coëfficienten zodanig te kiezen dat de variantie van $e(i,j)$ geminimaliseerd wordt. Welke representant van het algemene beeldmodel uiteindelijk als beeldmodel t.b.v. het Kalmanfilter zal dienen hangt af van de rekentechnische implementatie en de kwaliteit van het gekozen model. Om de kwaliteit te meten zijn een aantal criteria ontwikkeld, waaronder de Cramér-Rao grens (Biemond, c.s., 1979).

Een aantal in de literatuur gebruikte beeldmodellen wordt hier gegeven:

(1) *Lijnscanningsmodel* (Nahi, Assefi, 1972)

```
        j-1  j
    .   .    .   .   .
    .   .    .   .   .
i   .   ⊙    x   .   .
    .   .    .   .   .
    .   .    .   .   .
```

$$x(i,j) = ax(i,j-1)+bv(i,j-1) \qquad (6)$$

(2) *DPCM-model* (Habibi, 1972)

```
        j-1  j
    .   .    .   .   .
i-1 .   ⊙    ⊙   .   .
i   .   ⊙    x   .   .
    .   .    .   .   .
    .   .    .   .   .
```

$$x(i,j) = a_1x(i-1,j)+a_2x(i,j-1)+ - a_1a_2x(i-1,j-1)+bv(i-1,j-1) \qquad (7)$$

(3) *Semi-causaal model* (Jain, 1977)

```
        j-1  j
    .   .    .   .   .
i-1 .   ⊙    ⊙   .   .
i   .   ⊙    x   .   .
i+1 .   ⊙    ⊙   .   .
    .   .    .   .   .
```

$$x(i,j) = a_1\{x(i-1,j)+x(i+1,j)\}+ + a_2\{x(i-1,j-1)+x(i+1,j-1)\}+ + a_3x(i,j-1)+bv(i,j) \qquad (8)$$

(4) *Niet-causaal nearest neighbour model* (Jain, 1974)

```
        j-1  j   j+1
    .   .    .   .   .
i-1 .   .    ⊙   .   .
i   .   ⊙    x   ⊙   .
i+1 .   .    ⊙   .   .
    .   .    .   .   .
```

$$x(i,j) = a_1\{x(i-1,j)+x(i+1,j)\}+ + a_2\{x(i,j-1)+x(i,j+1)\}+ bv(i,j) \qquad (9)$$

Uit de naamgeving en de structuur van de modellen valt af te leiden dat we ons bedienen van een of andere definitie van causaliteit in 2-D. We zullen daarom kort

$\{x(i,j)\}$ → $R(k,l)$ → $S_{xx}(u,v)$ → $H(ju,jv)$ → $h(k,l)$ → $x(i,j) = \sum_{p,q} a(p,q)x(i+p,j+q)+v(i,j)$

stochastisch veld	autocorrelatie functie	vermogens-dichtheids-spectrum	overdrachts-functie	impuls-responsie	stochastische differentie vergelijking

Fourrier transformatie (R → S); spectrale factorisatie (S → H); inverse Fourrier transformatie (H → h)

Fig. 6: Spectraal factorisatie schema in 2-D.

ingaan op de betekenis van causaliteit in 2-D en een tweetal definities geven. In 1-D betekent causaliteit dat een signaalwaarde slechts een functie is van voorgaande signaalwaarden en een ingangsterm. In 2-D daarentegen is er geen natuurlijke ordening van punten, zodat een 2-D vlak oneindig veel generatierichtingen door een punt x kan bevatten. Bovendien is niet duidelijk wat heden, verleden en toekomst binnen een beeld is, omdat geen van beide onafhankelijke variabelen de tijd is. Omdat recursieve filteralgorithmen, gebaseerd op dit type modellen, in het tijddomein werken, moet de tijd op kunstmatige wijze geïntroduceerd worden. Twee definities van causaliteit worden gehanteerd:

- Non-symmetric half-plane (NSHP) causaliteit (Woods-Radewan, 1977).
  Dit type causaliteit is gebaseerd op het onder 1) genoemde lijnscanningsmodel. Alle beeldlijnen worden achter elkaar geplaatst, zodat het beeld op de volgende wijze in een heden, verleden en toekomst wordt verdeeld (zie fig. 7).

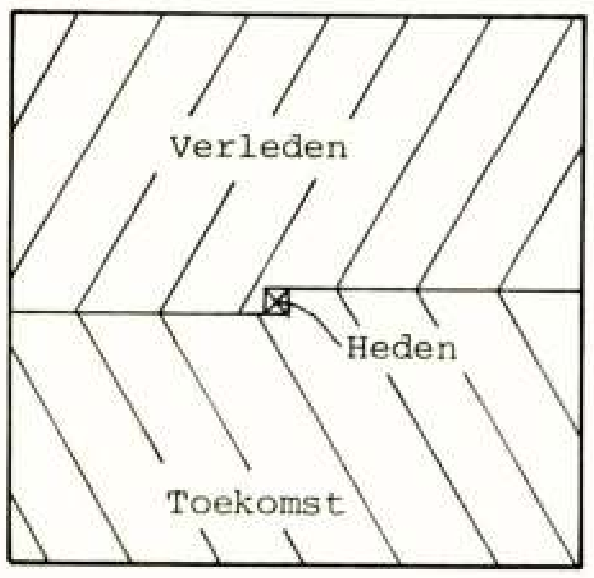


Fig. 7: NSHP-causaliteit

- Quarter-plane (QP) causaliteit (Habibi, 1972).
  Dit type causaliteit is gebaseerd op het onder 2) genoemde DPCM-model (zie fig. 8).

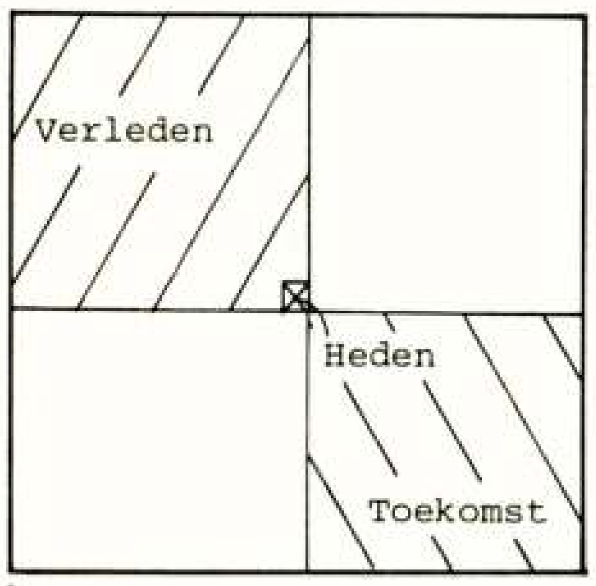


Fig. 8: QP-causaliteit

HET BEELD(VER)VORMENDE SYSTEEM L_2

De vervorming t.g.v. het beeldvormend systeem beschrijven we met behulp van een lineair systeem. Aan de ingang van dit systeem wordt het originele onvervormde beeld aangeboden, terwijl aan de uitgang het vervormde beeld aanwezig is. De beeldruis die op verschillende plaatsen in het beeldvormende systeem ontstaan kan zijn, wordt gemodelleerd als een additief signaal-onafhankelijk proces, dat ná de vervorming optreedt. De lineaire beeldvorming wordt dan gemodelleerd m.b.v. de volgende 2-D superpositiesom:

$$y(i,j) = \sum_k \sum_l x(k,l)g(i,j;\ k,l)+w(i,j) \qquad (10)$$

met $y(i,j)$ het waargenomen beeld op het punt (i,j), $x(k,l)$ het originele beeld op het punt (k,l), $w(i,j)$ de signaal-onafhankelijke ruis en $g(i,j;\ k,l)$ de impulsresponsie of puntspreidingsfunctie, die het uitgangsbeeld beschrijft bij een puntbron aan de ingang. Is het uitgangsbeeld, afgezien van een translatie, onafhankelijk van de positie van de puntbron aan de ingang, dan heet het systeem verschuivingsinvariant en reduceert (10) tot een convolutiesom:

$$\begin{aligned} y(i,j) &= \sum_k \sum_l x(k,l)g(i-k,j-l)+w(i,j) \\ &= \sum_k \sum_l x(i-k,j-l)g(k,l)+w(i,j) \end{aligned} \qquad (11)$$

Voorbeelden van verschuivingsinvariante vervormingen zijn de eenparige beweging langs een as en de defocussering. Een puntbron aan de ingang geeft dan een streepje resp. een vlek in de opname $y(i,j)$, onafhankelijk van de positie van de puntbron aan de ingang. Heeft men a priori kennis omtrent de oorzaak van de vervorming, dan is het mogelijk de puntspreidingsfunctie door berekening te bepalen, waarna sommige parameters, zoals de afstand waarover de beweging heeft plaats gevonden ôf de diameter van de defocussering uit het beeld $y(i,j)$ worden geschat. Ter illustratie dient het volgende voorbeeld.

Voorbeeld

Van de oorspronkelijke helderheidsverdeling (scène) $x(i,j)$ wordt een fotografische opname gemaakt, waarbij de camera met constante snelheid V wordt bewogen in de j-richting. De verkregen opname vertoont bewegingsonscherpte. Als de belichtingstijd bekend is en wordt gegeven door het interval $[-\frac{T}{2},\frac{T}{2}]$, dan geldt in het continue geval voor de puntspreidingsfunctie (Gerbrands, Backer, 1980)

$$g(i-k,j-l) = \begin{cases} \frac{1}{V} & -\frac{1}{2}VT \leq j-l \leq \frac{1}{2}VT;\ i-k = 0 \\ 0 & \text{elders} \end{cases} \qquad (12)$$

In figuur 9 is deze puntspreidingsfunctie getekend. Is de belichtingstijd onbekend, dan kan deze achterhaald worden door het gedrag van de vervorming te analyseren in het Fourierdomein. Fouriertransformatie van (12) geeft de overdrachtsfunctie $G(u,v)$:

$$G(u,v) = \frac{\sin \frac{1}{2}vVT}{\frac{1}{2}vVT} \qquad (13)$$

Dit is een sincfunctie in de v-richting onafhankelijk van de u-richting. De modulus van de overdrachtsfunctie is geschetst in fig. 10.

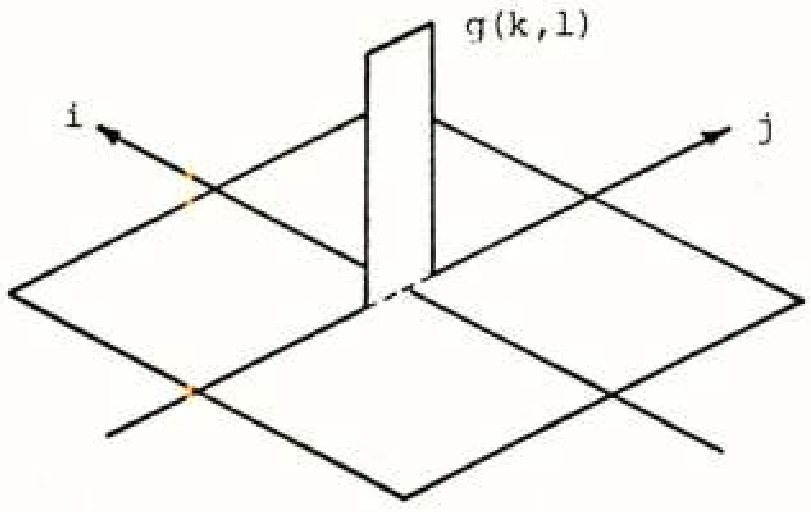


Fig. 9: Puntspreidingsfunctie van de lineaire bewegingsonscherpte langs de j-as.

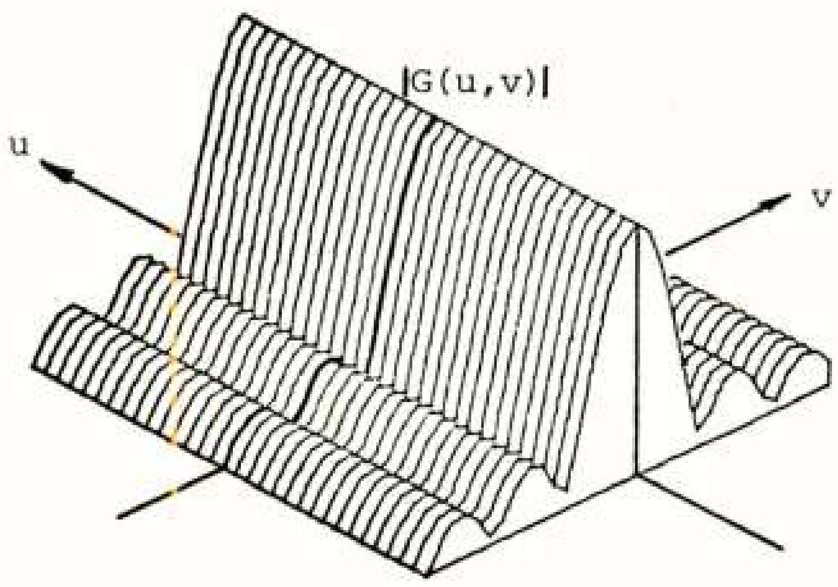


Fig. 10: Overdrachtsfunctie lineaire bewegingsonscherpte

Het nulpuntenpatroon van deze overdrachtsfunctie bestaat uit evenwijdige rechte lijnen, welke loodrecht op de bewegingsrichting staan. In het vermogensdichtheidsspectrum van het door lineaire beweginsonscherpte vervormde beeld manifesteren deze nulpunten zich als herkenbare minima. De afstand tussen deze vertikalen kan opgemeten worden en is direct gerelateerd aan de afstand waarover de vervorming zich heeft uitgestrekt.

Opgemerkt dient te worden dat bij het verwerken van digitale beelden op een computer, gebruik gemaakt wordt van het discrete equivalent van de hier behandelde continue puntspreidingsfunctie.

DE KALMANFILTER-VERGELIJKINGEN

De beide subsystemen L_1 en L_2 kunnen nu samengevoegd worden tot een dynamisch model, bestaande uit een *beeld- of toestandsvergelijking* en een *observatievergelijking*. Op dit dynamisch model worden dan de Kalmanfiltervergelijkingen geënt.

Bij wijze van voorbeeld ontwerpen we een Kalmanfilter om lineaire bewegingsonscherpte en additieve signaalonafhankelijke ruis uit een beeld te filteren. We kiezen het DPCM model om het originele onvervormde beeld te beschrijven:

$$x(i,j) = \rho_h x(i,j-1)+\rho_v x(i-1,j)-\rho_h\rho_v x(i-1,j-1)+ \\ + v(i-1,j-1) \qquad (14)$$

De coëfficienten ρ_h en ρ_v zijn zodanig gekozen, dat dit model een exacte beschrijving geeft van een klasse van beelden met een negatief-exponentiële scheidbare autocorrelatiefunctie. Modelvorming van de ruis en de lineaire beweging over de (discrete) afstand l_0 leidt tot de volgende observatievergelijking:

$$y(i,j) = \sum_{l=0}^{l_0} x(i,j-l)g(l)+w(i,j) \qquad (15)$$

Pogingen om op dit 2-D dynamische model (14) en (15) een *optimaal* 2-D Kalmanfilter te baseren leiden schipbreuk. De resulterende schatters behouden niet de optimaliteit in de kleinste kwadratische zin van het 1-D Kalmanfilter (Biemond, Gerbrands, 1980). Optimaliteit is wel gegarandeerd als dit 2-D model wordt geschreven in matrix-vectornotatie (in één onafhankelijke variabele) als een eerste-orde lineaire vector-differentievergelijking. Op basis van dit model kan een optimaal 1-D vector-Kalmanfilter worden afgeleid dat lijn-voor-lijn filtert.

Het opstellen van een matrix-vector-vergelijking voor het DPCM-model in (14) gaat als volgt.

Eerst wordt (14) herschreven tot

$$x(i,j)-\rho_h x(i,j-1) = \rho_v\{x(i-1,j)-\rho_h x(i-1,j-1)\}+ \\ + v(i-1,j-1) \qquad (16)$$

Stel vervolgens dat $\mathbf{X}(i)$ en $\mathbf{V}(i)$ kolomvectoren zijn met $\mathbf{X}(i) = [x(i,1),x(i,2),\ldots,x(i,N)]^t$ en $\mathbf{V}(i) = [v(i,1), v(i,2),\ldots,v(i,N)]^t$, dan kan (16) in matrix-vector notatie geschreven worden als:

$$A\mathbf{X}(i) = \rho_v A\mathbf{X}(i-1)+\mathbf{V}(i-1) \qquad (17)$$

$$\text{met } A = \begin{bmatrix} 1 & & & \mathbf{0} \\ -\rho_h & \ddots & & \\ & \ddots & \ddots & \\ \mathbf{0} & & -\rho_h & 1 \end{bmatrix}_{MxN}$$

De A-matrix is een beneden-driehoeks Toeplitz-matrix. De rijen zijn lineair onafhankelijk en dus bestaat de inverse van A. Na vermenigvuldiging met A^{-1} gaat (17) over in:

$$\mathbf{X}(i) = \rho_v\mathbf{X}(i-1)+A^{-1}\mathbf{V}(i-1) \qquad (18)$$

Vergelijking (18), te zamen met geschikte beginvoorwaarden, kan nu dienen als beeld- of toestandsvergelijking in het gebied$\{(i,j)$ met $i=1,\ldots M;\ j=1,\ldots,N\}$.

De observatievergelijking (15) kan nu als volgt in vector-matrix notatie geschreven worden:

$$\mathbf{Y}(i) = G\mathbf{X}(i)+\mathbf{W}(i) \qquad (19)$$

$$\text{met } G = \begin{bmatrix} g(0) & & & & \mathbf{0} \\ g(1) & \ddots & & & \\ \cdot\cdot & \ddots & \ddots & & \\ g(l_0) & \ddots & \ddots & \ddots & \\ \mathbf{0} & g(l_0) \cdots & g(1) & & g(0) \end{bmatrix}_{M \times N}$$

Combinatie van (18) en (19) leidt tot het volgende dynamische model:

$$\begin{aligned} X(i+1) &= \rho_v X(i) + A^{-1} V(i) \\ Y(i) &= G X(i) + W(i) \end{aligned} \qquad (20)$$

Hiervoor kunnen de volgende Kalmanfiltervergelijkingen worden afgeleid (Panda, Kak, 1977).

$$\hat{X}(i+1) = \underbrace{\rho_v \hat{X}(i)}_{\text{predictie}} + F(i+1)\underbrace{[Y(i+1) - G\rho_v \hat{X}(i)]}_{\text{innovatie}} \qquad (21)$$

Uit deze vergelijking blijkt dat een schatting $\hat{X}(i+1)$ van de $(i+1)^e$ beeldlijn wordt verkregen op basis van een schatting $\hat{X}(i)$ van de i^e beeldlijn (predictie), waarna deze schatting gecorrigeerd wordt m.b.v. de nieuwe informatie in de observaties $Y(i+1)$ op de $(i+1)^e$ beeldlijn (de innovatieterm), gewogen met de versterkingsmatrix $F(i+1)$. Voor deze versterkingsmatrix geldt de volgende relatie:

$$\begin{aligned} F(i+1) &= Q(i)G^t[GQ(i)G^t + \Sigma_w]^{-1} \\ Q(i+1) &= \rho_v^2[I - F(i+1)G]Q(i) + A^{-1}\Sigma_v A^{-1^t} \\ \text{met } Q(i) &= \rho_v^2 P(i) + A^{-1}\Sigma_v A^{-1^t}. \end{aligned} \qquad (22)$$

Σ_v, Σ_w en $P(i)$ zijn de covariantiematrices van resp. $V(i)$, $W(i)$ en de foutvector $[X(i) - \hat{X}(i)]$. De filtervergelijkingen zijn bepaald onder de aanname dat het signaal een gemiddelde waarde nul bezit.

EXPERIMENTELE RESULTATEN

De prestaties van het bovenbeschreven vector-Kalmanfilter zijn experimenteel onderzocht voor een aantal 8-bits testbeelden. Eerst is onderzocht in hoeverre het filter de ruis minimaliseert. Figuur 11 is opgebouwd uit 4 beelden ter grootte van 64x64 beeldpunten. Linksboven is afgebeeld het origineel (meisjesgezicht), rechtsboven hetzelfde testbeeld maar nu verontreinigd met door de computer gegenereerde additieve signaal-onafhankelijke witte Gaussische ruis, met gemiddelde waarde nul en een signaal-ruisverhouding (SNR) van 2. De signaal-ruisverhouding is hierbij gedefinieerd als

$$SNR = \frac{\text{variantie signaal}}{\text{variantie ruis}} \qquad (23)$$

Figuur 11 linksonder toont vervolgens het gefilterde beeld, gebaseerd op het DPCM-model met $\rho_h = \rho_v = 0{,}8$, terwijl rechtsonder het gefilterde beeld is afgebeeld voor $\rho_h = \rho_v = 0{,}9$. Naast een goede ruisuitsmering treedt enige resolutievermindering op en een vervaging van de contouren. Dit is het gevolg van een te beperkt model. Het beeld is namelijk in zijn geheel beschreven m.b.v. een homogeen model, terwijl contouren en sprongen in een beeld kunnen worden gezien als gebieden waar het model verandert. Een mogelijke oplossing voor dit probleem is gegeven door (Biemond, Gerbrands, 1979).



Fig. 11: Filterresultaat 64x64 testbeeld; SNR = 2.

Vervolgens wordt onderzocht in welke mate zowel vervorming als ruis uitgefilterd kan worden. We doen dit eerst aan de hand van een eenvoudig door de computer gegenereerd 32x32 testbeeld, voorstellend de letter "G" (figuur 12, linksboven). In de figuur rechtsboven is een lineaire bewegingsvervorming geïntroduceerd in horizontale richting over 6 beeldpunten (uitsmering over 6 beeldpunten), waarna additieve ruis wordt toegevoegd met SNR = 100 (linksonder). Tenslotte is in de figuur rechtsonder het filterrestultaat weergegeven. Hetzelfde experiment is herhaald voor het 64x64 testbeeld van het meisjesgezicht (figuur 13). Duidelijk is te zien dat in het gefilterde beeld de bewegingsvervorming nagenoeg is verdwenen en het beeld zijn oorspronkelijke scherpte terugkrijgt.

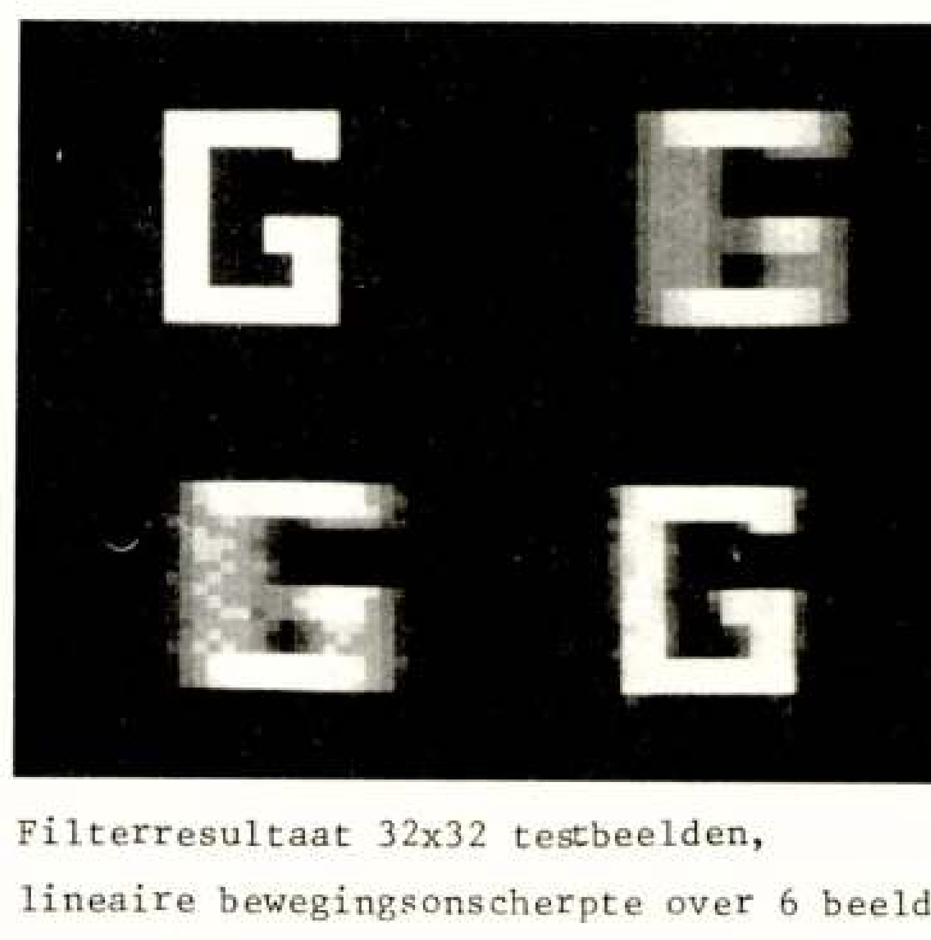


Fig. 12: Filterresultaat 32x32 testbeelden,
lineaire bewegingsonscherpte over 6 beeldpunten;
SNR = 100.



Fig. 13: Filterresultaat 64x64 testbeelden, lineaire bewegingsonscherpte over 6 beeldpunten; SNR = 100.

In figuur 14 wordt tenslotte het resultaat getoond van ons laatste experiment. Het 32x32 testbeeld (linksboven) wordt gedefocusseerd m.b.v. het nearest neighbour model (rechtsboven) en voorzien van additieve ruis met SNR = 100 (linksonder), waarna rechtsonder het filterresultaat is afgebeeld.

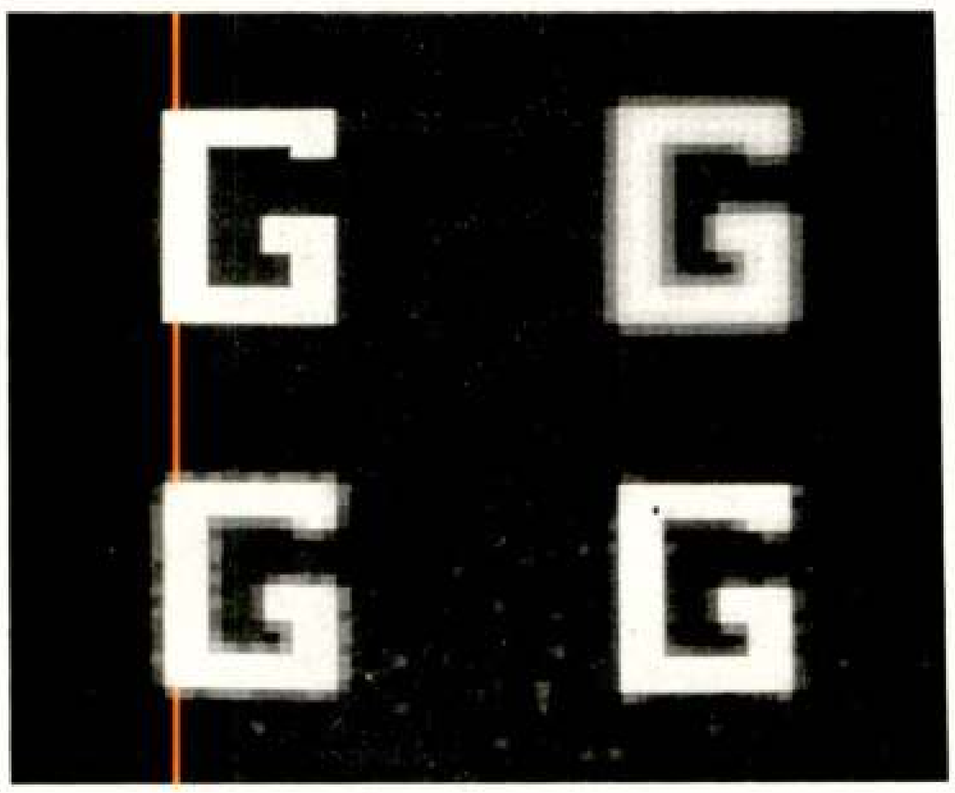


Fig. 14: Filterresultaat 32x32 testbeeld, defocussering volgens nearest neighbour model; SNR = 100.

De auteur hecht eraan, de samenwerking met K.K. Eerland, Ir. J.J. Gerbrands en Prof.ir. IJ. Boxma op deze plaats te noemen.

LITERATUURLIJST

Biemond, J. and Gerbrands, J.J., 'Comparison of some 2-D Recursive Point-to-Point Estimators Based on a DPCM Image Model', to appear in IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, Vol. SMC-10, December 1980.

Biemond, J. and Gerbrands, J.J., 'An Edge-Preserving Recursive Noise-Smoothing Algorithm for Image Data', IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, Vol. SMC-9, No. 10, October 1979.

Biemond, J., Links, L.H. and Boekee, D.E., 'Image Modelling and Quality Criteria', IEEE Trans. on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. ASSP-27, No. 6, December 1979, pp. 649-652.

Gerbrands, J. en Backer, E., Collegedictaat 'Beeldverwerking en Patroonherkenning', Cursus 1980-1981. Vakgroep Informatietheorie, Afdeling der Elektrotechniek, Technische Hogeschool Delft.

Habibi, A., 'Two-Dimensional Bayesian Estimate of Images', Proceedings IEEE, Vol. 60, No. 7, July 1972, pp. 878-883.

Jain, A.K., 'A Semicausal Model for Recursive Filtering of Two-Dimensional Images', IEEE Trans. on Computers, Vol. C-26, No. 4, April 1977, pp. 343-350.

Jain, A.K., 'Partial Differential Equations and Finite Difference Methods in Image Processing, part 1: Image Representation', Journal of Optimization Theory and Applications, Vol. 23, No. 1, September 1977, pp. 65-91.

Jain, A.K. and Angel, E., 'Image Restoration, Modelling and Reduction of Dimensionality', IEEE Trans. on Computers, Vol. C-23, No. 5, May 1974, pp. 470-476.

Nahi, N.E. and Assefi, T., 'Bayesian Recursive Image Estimation', IEEE Trans. on Computers, July 1972, pp. 734-738.

Panda, D.P. and Kak, A.C., 'Recursive Least Squares Smoothing of Noise in Images', IEEE Trans. on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. ASSP-25, No. 6, December 1977, pp. 520-524.

Woods, J.W. and Radewan, C.H., 'Kalman Filtering in Two-Dimensions', IEEE Trans. on Information Theory, Vol.IT-23, No. 4, July 1977, pp. 473-482.

Voordracht gehouden op 30 oktober 1980 op de THE tijdens een gemeenschappelijke vergadering van het NERG (nr.292), de Sectie voor Telecommunicatietechniek KIvI, en de Benelux sectie IEEE.

SECTIE TELECOMMUNICATIE, KIvI
NEDERLANDS ELEKTRONICA- EN RADIOGENOOTSCHAP
(293ste werkvergadering)
IEEE BENELUX SECTIE

UITNODIGING

voor de lezingendag over „Alternatieve methoden van energie-opwekking" op **donderdag 20 november 1980** in de **grote zaal** van het **gebouw van het KIvI** aan de **Prinsessegracht 23** te **'s-Gravenhage.**

PROGRAMMA

9.30 uur: Ontvangst en koffie.

10.00 uur: **DRS. K. JOON**, (Energie-onderzoek Centrum Nederland, Petten):
HET NATIONALE ONDERZOEKPROGRAMMA ZONNE-ENERGIE.

10.30 uur: **IR. C. DEN OUDEN**, (Technisch Physische Dienst-TNO, Delft):
THERMISCHE TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN VAN ZONNE-ENERGIE IN NEDERLAND.

11.15 uur: Koffiepauze.

11.30 uur: **DR. IR. A. KIPPERMAN**, (Technische Hogeschool, Eindhoven):
TOEPASSING VAN ZONNECELLEN, ENIGE SYSTEEMBESCHOUWINGEN.

12.15 uur: Lunchpauze, lopende lunch in de wandelgangen.

13.45 uur: **IR. G. G. PIEPERS**, (Energie-onderzoek Centrum Nederland, Petten):
KAN NEDERLAND VAN DE WIND LEVEN?

14.15 uur: **IR. W. J. DE ZEEUW**, (Technische Hogeschool, Eindhoven):
ALS NEDERLAND IN DE TOEKOMST VAN DE WIND ZOU LEVEN . . . ., ENIGE SYSTEEMBESCHOUWINGEN.

15.00 uur: Theepauze

15.15 uur: **IR. J. OUDERLING**, (Dr. Neherlaboratorium-PTT, Leidschendam):
EFFECTEN VAN WINDENERGIE-SYSTEMEN OP TELECOMMUNICATIE-VERBINDINGEN.

16.00 uur: Sluiting.

Aanmelding kan geschieden vóór 14 november a.s.
Tijdens de lunchpauze bestaat de mogelijkheid gebruik te maken van een lopende lunch in de wandelgangen van het KIvI-gebouw.
De lunchkosten kunnen worden voldaan door het overmaken van *f* 12,50 op postgiro 576595 t.n.v. penningmeester KIvI Sectie T te Oosterhout, onder vermelding van „Lunch energiedag". De betaling dient vóór 15 november te zijn ontvangen.

Het KIvI-gebouw is als volgt te bereiken:
Per trein naar Den Haag-C.S., t.o. het station ligt een hertekamp „Koekamp", daarachter bevindt zich het Malieveld, links van Koekamp en Malieveld ligt de Prinsessegracht. (ca. 5 min. gaans van C.S.)
Per auto komende vanaf de richting Gouda eindigt de autoweg op de Utrechtsebaan, aan het einde links (Zuid-Hollandlaan), aan het einde weer links.
De Prinsessegracht ligt nu rechts van u. Parkeergelegenheid in de omgeving van het Malieveld of Parkeergarage bij het Centraal Station.

Namens de samenwerkende verenigingen,
IR. R. C. STRATO.
Telefoon 070 - 782640

Den Haag, oktober 1980.

Twintigste plenaire vergadering van de Internationale Wetenschappelijke Radio Unie, Washington D.C., 10 - 19 Augustus 1981.

F. Louis H.M. Stumpers
Universiteit Utrecht en Nijmegen
Philips Nat.Lab. (ret.)

Terwijl het Bestuur, het Executieve Comité en het Coördinerend Comité reeds van 7 tot 9 Augustus bij elkaar komen voor diverse zakelijke besprekingen, begint het wetenschappelijk gedeelte met de officiële opening op Maandag 10 Augustus 1981 in het Hyatt Regency Hotel in Washington, waar alle vergaderingen worden gehouden. Diezelfde dag zullen de negen Commissies hun nieuwe vice-voorzitter kiezen, en hun plannen voor de komende drie jaar bespreken. De Commissie voorzitters van de afgelopen periode treden nu af, en worden opgevolgd door hun vice-voorzitter.

Om de eenheid van het wetenschappelijk onderzoek in U.R.S.I. te benadrukken worden drie conferenties gegeven over onderwerpen van algemene interesse, waarbij alle deelnemers verwacht worden, telkens 's morgens om 9 uur : 12 Augustus professor Shearman: Radio science and oceanography, 17 Augustus professor Gordon : Solar power satellite and telecommunications, en 19 Augustus professor Friedman : High energy astronomy. Ook de uitreiking van de van der Pol en Dellinger medailles en van de Appleton Award, waarbij de bekroonde sprekers over hun werk zullen praten, belooft van algemene interesse te zijn.

Er worden vier tweedaagse open symposia georganiseerd. Op 11 en 12 Augustus : Remote sensing, voorziter dr. J.O. Thomas, secretaris dr. D.L. Croon. De vier zittingen betreffen : Remote sensing of the sea (including polar oceans), organisator dr. Valenzuela. Remote sensing of land (including snow/ice cover of land). Organisator dr. Gjessing. Remote sensing of the lower and middle atmosphere. Organisator dr. Croon. Image processing in remote sensing. Organisator dr. J. Thomas. Op 13 en 14 Augustus : Millimeter and submillimeter waves, voorzitter K.J. Button (M.I.T.) met zittingen over radioastronomie (dr. Baars) over complexe dielectrische eigenschappen van vaste stoffen en vloeistoffen (dr. Afsar) over meting van vermogens (Stauffer en Tait), over de vrije electron maser en het gyrotron (dr. Sprangle) en een algemene zitting (K.J. Button).

Eveneens op 13 en 14 Augustus een open symposium over Interactie van electromagnetische golven en biologische systemen, voorzitter S.W. Rosenthal. Dit symposium wordt gecoördineerd met de jaarlijkse vergadering van de Bioelectromagnetics Society van 10 tot 12 Augustus, zodat vijf dagen in onderlinge samenhang worden gevuld. De U.R.S.I. dagen zullen zowel uitgenodigde sprekers aan het woord zien, als aangeboden bijdragen.

Het vierde open symposium betreft mathematische modellen van radio propagatie en het wordt georganiseerd door dr. J. Wait op 17 en 18 Augustus.

Het open symposium over Remote sensing trekt reeds zoveel belangstelling, dat wellicht meer tijd ervoor nodig zal zijn (of parallelzittingen).

Gedeeltelijk parallel met de open symposia organiseren de negen Commissies van U.R.S.I. hun wetenschappelijke zittingen. Bij Commissie A (meetmethoden) zijn zittingen gewijd aan Metingen in electrische netwerken. Oppervlakte toleranties voor antennes met grote precisie (met B en J). Tijd en frequentie metingen. Signaal en ruis metingen (met E). De toepassing van de optische fiber bij metingen. Cryogene metingen.

Commissie B (Electromagnetische golven) heeft zittingen over meetmethoden. Strooiing en buiging. Geleide golven. Methodes voor hoge frequenties. Niet lineaire effecten. Media van onregelmatige samenstelling. Overgangsverschijnselen in velden. Inverse strooiing. Nieuwe methoden. Antennes.

Commissie C (Communicatie-, informatie- en netwerktheorie) behandelt : Optimale codering in ruis. Microelectronische netwerken en systemen (met D). Telecommunicatie en digitale signaalverwerking. Hulpmiddelen voor zeer snelle verwerking van signalen (met D en J). Satelliet communicatie. Computer communicatie."Spread spectrum" communicatie. Optische communicatie. Communicatie en data verwerking voor ruimte onderzoek.

Commissie D (Electronics) : Optische systemen en componenten.

Commissie E (Ruis van aardse oorsprong en

door mensen gemaakte ruis. Effecten van niet--gaussische ruis op communicatie.
Commissie F (Tropospheer) : Interferentie problemen bij voortplanting en efficient gebruik van het radio spectrum. Strooimechanismen voor radio golven in de midden atmosfeer (met G). Optische propagatie. Propagatie tussen aarde en satelliet, systeem en radio meteorologische aspecten. Speciale onderwerpen. Rapporten over internationale symposia.

Commissie G (Ionosfeer) : Equatoriale onregelmatigheden in de ionosfeer (met H). Aeronomische studies met behulp van digitale ionosferische sondes. Wijzigingen in de ionosfeer. Invloed van de ionosfeer op radio systemen. Radio onderzoekingen van de ionosfeer op hoge breedten, eerste resultaten van EISCAT (met H).

Commissie H (Plasmas) : Bepaling van plasma golf spectra op afstand. Injectie van magnetosferische golven. Plasma golf analyse met hulp van de computer.

Commissie J (Radioastronomie) : Nieuwe ontwikkelingen in observatoria en laboratoria. Geschiedenis van de radio astronomie met speciale aandacht voor de vijftigste verjaardag van Jansky's ontdekking.

Zoals men ziet, werken verschillende commissies samen bij de behandeling van onderwerpen. We hebben de zittingen dan alleen bij de eerst in het alfabet komende commissie vermeld.

Men mag interessante voordrachten over een breed gebied verwachten. Het is te hopen, dat Nederland ondanks de ongunstige omstandigheden goed vertegenwoordigd kan zijn. Eventueel kan een gezamenlijke reis de kosten verminderen.

UIT HET NERG

LEDENMUTATIES

Voorgestelde leden

Ir. J. Bruijn, Beekstraat 45, Apeldoorn
Ir. J. van Cappellen, Vreelandseweg 58, Nederhorst den Berg
Dr. K.S. Chung, Keversberg 4, Eindhoven
Ir. H.T. Huele, IJsselstraat 17, Hengelo (O)
Ir. M.H.P. van Iersel, Kreitenmolenstraat 99, Udenhout
Ir. A.C. Sonneveldt, A. van Scheltemaplein 62, Delft
Ing. C.P.M. Willems, Immenhof 30, Teteringen
Ir. S.C.J. Worm, Goorland 6, Bladel

Nieuwe leden

J.M.H. Hanselman, Morgental 20, Krimpen a/d IJssel
Ir.C.G.M. van 't Klooster, Vestdijkhove 68, Zoetermeer
Ir. C. Noort, Anne Franklaan 189, Bussum
Ir. J.P. Schuddemat, Roskam 28, Beuningen (Gld)

Nieuwe adressen van leden

R.W. Budding, Berlagelaan 139, Bilthoven
Ir. A.A. Dogterom, Eikenlaan 11, Hilversum
Ir. R. Dufour, Hagelkruisweg 75, Deurne
Ir. P.J. Haubrich, Alpenlandstrasse 12, A2380 Perchtoldsdorf, Oostenrijk
Ir. M.E. Kopijn, Dingenaarserf 6, Eemnes
Ir. A. Mawira, Burg. Caan van Necklaan 259, Leidschendam
Ir. A.H. Toet, Koetlaan 25, Delft
Ir. J.A. Verhoef, Molendijk 34, Hamont Achel (Limburg), België

Voorlopig programma van werkvergaderingen

9/4 Jaarvergadering.Patroonherkenning
23/4 IC's T.H.Twente
?/5 Digitale transmissie. Dr.Neherlaboratorium
?/9 Elektronische filters
29/9 Het Instrument. Thema nog niet bekend. RAI Amsterdam
22/10 100 jaar telefonie RAI Amsterdam
?/10 Digitale lokale netten
?/11 Elektronica in lucht en ruimtevaart
?/? Telecommunicatie en energie

VARIA

Zoals in de algemene vergadering op 14-4-1980 is besproken, is de contributie m.i.v. 1981 vastgesteld op f 60,-- per jaar.

Voor diegenen die de contributie voldoen via de periodieke overschrijving zal de wijziging collectief aan de girodienst worden doorgegeven. Eventuele bezwaren kunnen bij de penningmeester NERG, postbus 39, 2260AA Leidschendam worden ingediend.

NEDERLANDS ELEKTRONICA- EN RADIOGENOOTSCHAP
(294ste werkvergadering)
SECTIE TELECOMMUNICATIETECHNIEK, KIvI
IEEE BENELUX SECTIE

UITNODIGING

voor de lezingendag op donderdag **29 januari 1981** in het Auditorium van de **Technische Hogeschool** te **Eindhoven.**

Thema: SATELLIET - OMROEP

PROGRAMMA

9.30 uur: Ontvangst en koffie.

10.00 uur: **PROF. DR. IR. J. J. GELUK**, (Wereldomroep, Hilversum):
DE HEMELSE OMROEP.

10.30 uur: **DR. G. RADIG**, (Messerschmitt-Bölkow-Blohm, München):
DESCRIPTION OF THE FRANCO-GERMAN TELEVISION BROADCAST SATELLITE PROGRAM TV-SAT/TDF-1.

11.15 uur: Koffiepauze.

11.45 uur: **DR. D. FASOLD en L. HEICHELE** (Messerschmitt-Bölkow-Blohm, München):
ANTENNA SYSTEM OF THE GERMAN BROADCASTING SATELLITE.

12.30 uur: Lunchpauze.

14.00 uur: **E. KAMMER**, (Philips, Eindhoven):
SATELLIET-OMROEP EN KABEL-TELEVISIE IN NEDERLAND.

14.45 uur: Theepauze.

15.15 uur: **IR. J. MENDRIK**, (Dr. Neher Laboratorium, Leidschendam):
CENTRALE ANTENNE-INRICHTINGEN: NU EN IN DE TOEKOMST.

15.45 uur: Discussie.

16.00 uur: Sluiting.

Aanmelding kan geschieden vóór 22 januari 1981 door inzending van de aangehechte kaart, ingevuld en gefrankeerd met een postzegel van 45 cent.
De mogelijkheid bestaat om op de TH de lunch te gebruiken. Daartoe kunnen bonnen worden besteld door een bedrag van *f* 12,50 over te maken op postgiro 2389759 t.n.v. J. Neessen te Woerden onder vermelding van „Lunch SAT-dag". De betaling dient te zijn ontvangen vóór 22 januari 1981.
Bestelde bonnen kunnen voor aanvang van de lezingen worden afgehaald bij de organisatietafel. Op de dag zelf zijn geen bonnen meer verkrijgbaar.

Namens de samenwerkende verenigingen,
IR. J. NEESSEN.
Telefoon overdag 070 - 755591
Telefoon 's-avonds 03480 - 14539

Woerden, december 1980.

1982 International Zürich seminar on digital communications.
9-11 maart 1982 Zürich. Call for papers: 21-7-1981.
Kontakt adres: Secretariaat '82 IZS; Miss M.Frey,EAE; Siemens-Albis AG; POB; CH-8047 Zürich/Switserland.

Inter-noise 81. 6-8 oktober 1981 Rai-congress building Amsterdam. Kontaktadres: Inter-Noise 81; P.O.Box 85542; 2508 CE The Hague; The Netherlands

Melecon '81. 24-27 mei 1981 - Tel Aviv Hilton. Kontakt-adres P.O.B. 3473, Tel Aviv 63431, Israël.

Fifth international conference on digital satellite communications. Congress Building International Fair, Genova,Italy; March 23-26, 1981; Kontaktadres: Administrative Office; The Fifth International Conference on Digital Satellite Communications; Istituto Internazionale delle Comunicazioni; Via Pertinace, Villa Piaggio; 16125 Genova, Italy.

European conference on circuit theory and design (ECCTD81) August 25-28, 1981; The Netherlands Congress Center, The Hague; Kontaktadres: Delft University of Technology, Department of electrical engineering; Attn. Erika van Verseveld; P.O.Box 5031; 2600 GA Delft; The Netherlands.

Telecommunication Transmission into the digital era; 17-20 maart 1981 London WC2 Savoy Place; kontakt adres: Conference Department; Institution of Electrical Engineers; Savoy Place, London WC2R OBL, Telephone 01-2401871 (Ext.) 261 Telex 261176

First Conference on Integrated Optics; 14-15 september 1981 IEE, Savoy Place, London WC2R OBL, UK Kontakt adres: identiek aankondiging hierboven.

Control and its Applications; 23-25 maart 1981; University of Warwick, UK; Kontaktadres: identiek aankondiging hierboven.

Third International Telecommunications Energy Conference 19-21 may 1981; Royal Lancaster Hotel, Lancaster Terrace London W2 2TY; Kontaktadres: identiek aankondiging hierboven.

Third international conference on hot carriers in semiconductors; 7-10 july 1981; Montpellier, France; Kontaktadres: Prof. J.P. Nougier, Université de Sciences et Techniques de Languedoc; Place Eugène Bataillon; 34060 Montpellier France. Telefoon (67) 54.71.84

Grosintegration, Technologie Schaltungstechniek, Systeme, Anwendungen; 16-18 März 1981 Baden-Baden, Kongreshaus; Kontaktadres: VDE-Bezirksverein Mittelbaden e.V.? Doxlander Strasse 72; 7500 Karlsruhe; Telefon (0721) 59665020

Audio evolution in the 80s; 17-20 march 1981; Congress centrum Hamburg Am Dammtor; Kontakt adres: Miss T.K.S. Bakker; c/o Polygram B.V.; P.O. Box 23; 3740AA Baarn-Holland

Tijdschrift van het Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap

Inhoud

deel 46 - nr. 1 - 1981

druk: de Witte Eindhoven